



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA EL
BRAZO ROBÓTICO DE CINCO GRADOS DE LIBERTAD, UTILIZANDO
LABVIEW E INTERNET”**

**TESIS DE GRADO
Prevía a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES”**

Presentado por:
Edison Patricio Coque Morillo

Riobamba-Ecuador
2013.

Agradezco a mi madre la señora Lina Morillo Tarapuez a mi padre el Sr Rafael Coque Tenorio, a mi hermano Pablo Coque, hermanas, a mi sobrino así como a mis maestros, amigos y todas las personas que contribuyeron para lograr esta meta.

Edison Patricio Coque Morillo

Este trabajo esta dicado de manera muy especial a mi madre Sra. Lina Morillo que con su apoyo, esfuerzo y cariño ha sido un pilar fundamental en la realización de esta tesis y ayudar así en la finalización de mis estudios, a mis hermanas María Eugenia y María Belén, a mi sobrino Jonathan Tamayo para que de igual manera persistan en todo cuanto anhelan y que con trabajo y el apoyo de quienes los quieren se puede lograr los objetivos propuestos.

Edison Patricio Coque Morillo

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Iván Menes.
DECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

Ing. Paul Romero Riera
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

Ing. Paul Romero Riera
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Barba
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Tlgo. Carlos Rodríguez.
DIRECTOR DEL DPTO.
DE DOCUMENTACIÓN

Nota:

“Yo EDISON PATRICIO COQUE MORILLO, soy el responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta: Tesis, Tesina, Memoria, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Edison Patricio Coque Morillo

EL AUTOR

ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

CGI	Comoon Gateway Interface
DAQ	Data Acquisition.
D-H	Denavit -Hartenberg .
DOF	Degree of Free.
FFT	Transformada rápida de Fourier.
GDL	Grados De Libertad.
GLA	Ganancia en lazo abierto.
HMI	Human machine interface
LABVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.
LabVNC	Laboratory Virtual Network Computing.
MAX	Measurement and automation explorer
MCD	Modelo cinemático directo.
NI	National Instruments.
PIC	Circuito integrado programable.
PID	Control proporcional integral derivativo.
PLC	Controlador lógico programable.
PWM	Modulación por ancho de pulso.
RPY	Rol, pitch, yaw.
RRP	Rotacional-rotacional-prismática
RPR	Rotacional-prismática-rotacional
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot ARM.
SLIT	Sistema lineal invariante en el tiempo.

SP/SPC	Set point/ set point control
TDH	Distorsión armónica Total.
TTL	Transistor Transistor Lógico.
URL	Uniform Resource Locator.
VI's	Instrumento virtual.

ÍNDICE GENERAL.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.....	22
1.1 ANTECEDENTES.....	22
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo General.	24
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 HIPÓTESIS.....	25

CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO	26
2.1.1 Avance y evolución de sistemas operados de forma remota mediante computadores.....	26
2.1.1.1 Historia y Evolución del control industrial.....	27
2.1.1.2 Automatización basada en ordenador.....	29
2.1.2 Morfología de robots.....	30
2.1.2.1 Tipos de articulaciones.....	31
2.1.2.2. Estructuras básicas.....	32
2.1.3 Localización espacial.....	34
2.1.3.1 Representaciones de la posición.....	34

2.1.3.2 Sistema cartesiano de referencia.....	36
2.1.3.3 Representación de la Orientación.....	38
2.1.3.4 Matrices de rotación.....	40
2.1.4 Modelo cinemático directo de robots manipuladores.....	43
2.1.4.1 Modelo Cinemático directo del manipulador.....	44
2.1.4.2 Modelo de un robot manipulador con n articulaciones.....	45
2.1.4.3 Resolución del problema cinemático directo mediante matrices de transformación homogénea.....	45
2.1.4.4 Algoritmo de Denavit–Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo.....	48
2.1.5 Sensores.....	52
2.1.5.1 Clasificación y características de los sensores.....	53
2.1.5.2 Sensores de desplazamientos lineales y giros.....	55
2.1.5.3 Codificadores ópticos.....	57
2.1.5.4 Máquinas síncronas, transformadores y resolvedores.....	58
2.1.5.5 Sensores de presencia y Proximidad.....	61
2.1.6 Sistemas de control.....	66
2.1.6.1 Tipos de señales y sistemas.....	67
2.1.6.2 Sistemas combinacionales y secuenciales.....	68
2.1.6.3 Sistemas de control en lazo abierto.	68
2.1.6.4 Sistemas de control realimentados.	70
2.1.6.5 Clasificación de sistemas.....	71
2.1.6.6 Diseño de sistemas de control en tiempo continuo y discreto.....	72
2.1.6.7 Acciones básicas de control.....	73

2.1.6.8 Tipos de controladores.....	73
2.1.7 Desarrollo de aplicaciones en labview.....	80
2.1.7.1 Aplicaciones de Labview.....	81
2.1.7.2 Programación gráfica con Labview.....	81
2.1.7.3 Laboratorios basados en la Web	82
2.1.7.4 Consideraciones operativas.....	83
2.1.7.5 Web hosting y manejo de usuarios.....	84
2.1.7.6 Recursos servidor-cliente.....	85

CAPÍTULO III

3.1 DESCRIPCIÓN Y ADECUACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.....	88
3.1.1 Sistema caja reductora.	89
3.1.1.1 Tren de engranajes.....	91
3.1.2 Selección de sensores para el brazo robótico.....	94
3.1.2.1 Sensor de posición y velocidad (encoder).	94
3.1.2.2 Sensores de contacto.....	98
3.1.3 Montaje de sensores al brazo robótico.....	99
3.1.4 Posición y orientación en el espacio del brazo robótico.	103
3.1.4.1 Resolución del Modelo Cinemático Directo.....	103
3.1.4.2 Aplicación del algoritmo Denavit-Hartenberg.	103

CAPÍTULO IV

4.1 COMPOSICIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	109
4.1.1 Esquema del sistema de control.....	109
4.1.2 Diseño tarjetas y circuitos de control.	111
4.1.3 Etapa para acondicionamiento de señales provenientes de los encoder.....	112
4.1.4 Etapa de pulsadores y switches.....	113
4.1.5 Interfaz para el control de las articulaciones del brazo robótico.....	114
4.1.6 Características DAQ 6009.....	122

CAPÍTULO V

5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SCMI-LV.....	126
5.1.1 Conexión del brazo robótico al sistema de control y acondicionamiento de Señales.....	126
5.1.2 Conexión del sistema de control y acondicionamiento a la tarjeta de adquisición de datos.	128
5.1.3 Configuración de la tarjeta de adquisición de datos.....	129
5.1.4 Desarrollo de la interfaz de control con labview	130
5.1.4.1 Pantalla de inicio.....	130
5.1.4.2 Subvi control robot.....	131
5.1.4.3 Ingreso de parámetros.....	133
5.1.5 Programación del modelo cinemático directo.	141
5.1.6 Configuración servidor web de labview	141

5.1.6.1 Configuración web publishing de labview.....	143
--	-----

CAPÍTULO VI

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS.....	149
6.1.1 Activación del sistema en el servidor.....	149
6.1.2 Resultados de mediciones a las articulaciones angulares.....	150
6.1.2.1 Ángulos medidos según diferentes posiciones.....	150
6.1.2.2 Cálculo Posición.....	151
6.1.2.3 Determinación de error mediante el uso del sistema de localización.....	152
6.1.3 Funcionamiento cliente-servidor con labview.....	153
6.1.3.1 Resultados medidos al momento de enviar instrucciones desde el cliente al servidor.....	153

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

RESUMEN

SUMMARY

GLOSARIO

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. II.1. Sistema de operación manual mediante instrumentos.....	27
Fig. II.2. Tableros de control y medida.....	28
Fig. II.3. Articulaciones con diferentes grados de libertad.....	31
Fig.II.4. Configuraciones más usadas en robots manipuladores.....	32
Fig. II.5. Sistema de coordenadas Vectorial.....	35
Fig. II.6. Sistema de coordenadas cartesianas.....	36
Fig. II.7. Sistema de coordenadas polares.....	37
Fig. II.8. Representación Coordenadas cilíndricas.....	38
Fig. II.9. Ubicación efector final mediante un sistema de referencia.....	40
Fig. II.10. Sistema de coordenadas rotados uno respecto al otro.....	41
Fig. II.11. Sistema de coordenadas solidarios.....	43
Fig. II.12. Relación cinemática inversa y directa.....	43
Fig. II.13. Sistema de coordenadas para localizar un objeto.....	45
Fig. II.14. Robot planar de 2 grados de libertad.....	47
Fig. II.15. Representación parámetros de D_H.....	50
Fig. II.16. Robot cilíndrico.....	52
Fig. II.17. Potenciómetro lineal y giratorio.....	55
Fig. II.18. Esquema Potenciómetro lineal.....	56
Fig. II.19. Encoders.....	57
Fig. II.20. Esquema básico de un transformador diferencial variable.....	59
Fig. II.21. Resolver síncrono.....	60
Fig. II.22. Sensores Inductivos.....	62

Fig. II.23. Sensores De efecto Hall.....	62
Fig. II.24. Esquema de un sensor capacitivo.....	63
Fig. II.25. Composición sensor ultrasónico.....	64
Fig. II.26. Características sensor ópticos.....	65
Fig. II.27. Disposición de elementos en un sensor óptico.....	65
Fig. II.28. Muñeca con micro interruptores para detectar contacto.....	66
Fig. II.29. Diagrama de un sistema de control.....	67
Fig. II.30. Esquema básico de un sistema de control.....	69
Fig. II.31. Esquema sistema lazo abierto.....	69
Fig. II.32. Diagrama de bloque de un control proporcional.....	74
Fig. II.33. Curvas Control proporcional... ..	75
Fig. II.34. Diagrama de bloques de un controlador integral.....	76
Fig. II.35. Control integral señal de error y señal de control.....	77
Fig. II.36. Diagrama de bloques de la acción de control PI.....	78
Fig. II.37. Formas de salida del control PI.....	79
Fig. II.38. Estructura distribuida de comunicación internet.....	83
Fig.III.1. Brazo antropomórfico utilizado.....	89
Fig. III.2. Caja de reducción.....	90
Fig. III.3. Motor dc con sistema de tren de engranajes.....	90
Fig. III.4. Relación de transmisión de un sistema de reducción.....	91
Fig. III.5. Descripción de ejes relacionados.....	92
Fig.III.6. Definición conductoras y conducidas	93
Fig. III.7. Salida de un encoder de cuadratura.....	95
Fig. III.8. Sensor GP1S53VJ000F	96

Fig. III.9. Disco ranurado para generación de pulsos.....	96
Fig.III.10. Adaptación del sensor óptico y disco ranurado a la caja de reducción...	97
Fig. III.11. Sensor infrarrojo y diagrama de operación.....	97
Fig. III.12. Encoder conectado a un schmit trigger para la normalización de la señal de salida.....	98
Fig. III.13. Interruptores de contacto disponibles en el mercado.....	98
Fig. III.14. Esquema funcionamiento Microswitch.....	99
Fig. III.15. Descripción de la zonas en donde serán ubicados los sensores.....	100
Fig. III.16. Acoplamiento del disco para el conteo de pulsos con el ECG 3100.....	100
Fig. III.17. Ubicación de los encoder al hombro y el codo.....	101
Fig. III.18. Ubicación final de carrera en la pinza p de cerrado.....	102
Fig. III.19. Definición de parámetros para la determinación del algoritmo D_H...	104
Fig. III.20. Asignación de ejes y ángulos según las consideraciones anteriores....	105
Fig. IV.1. Esquema del sistema de control.....	111
Fig. IV.2. Tarjeta de adquisición de datos (DAQ 6009) de National Instruments.....	112
Fig. IV.3. Acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores de pulsos.....	113
Fig. IV.4. Salida de los pulsadores a la interfaz.....	114
Fig. IV.5. Diagrama tarjeta de control.....	122
Fig. IV.6. Distribución de los canales análogos.....	123
Fig. IV.7. Distribución de los canales digitales.....	124
Fig. V.1. Tarjeta de control.....	127
Fig. V.2. Tarjeta de acondicionamiento e interfaz.....	127

Fig. V.3. Conexión del Brazo Robótico a la tarjeta de control y la interfaz.....	128
Fig. V.4. Conexión DAQ tarjeta de control.....	129
Fig. V.5. Panel frontal.....	131
Fig. V.6. Diagrama de bloques portada.....	131
Fig. V.7. Icono SubVi control.....	132
Fig. V.8. Panel frontal Control.vi.....	132
Fig. V.9. Control de menús.....	133
Fig. V.10. Diagrama de bloques ingreso de datos.....	134
Fig. V.11. Slide ingreso ángulo deseado	135
Fig. V.12. Task para realizar el ingreso y salida de señales.....	136
Fig. V.13. Diagrama de bloques incrementar ángulos.....	137
Fig. V.14. Diagrama decrementar ángulos.....	138
Fig. V.15. Panel frontal controlador VI PID.....	139
Fig. V.16. Diagrama etapa de control VI PID.....	139
Fig. V.17. Panel activación pinza.....	140
Fig. V.18. Panel frontal control muñeca.....	141
Fig. V.19. Diagrama activación muñeca.....	141
Fig. V.20. Nodo de fórmula para asignación de variables	142
Fig. V.21. Parámetros que indican la posición final del actuador del brazo.....	143
Fig. V.22. Menú para seleccionar la función remot panel.....	144
Fig. V.23. Configuración servidor Labview.....	144
Fig. V.24. Selección de web publishing tool.....	145
Fig. V.25. Selección del VI a mostrar en la red.....	145
Fig. V.26. Habilidad de márgenes.....	146

Fig. V.27. Habilitar Título de página.....	147
Fig. V.28. Cargar el VI.....	147
Fig. V.29. Activación Control desde un Cliente.....	148
Fig. VI.1. Error obtenido entre ángulo medido y ángulo deseado.....	151
Fig. VI.2. Errores de medición registrados por cada articulación.....	152
Fig. VI.3. Comparación resultados posición real y modelo matemático.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA. II.I PARÁMETROS D-H PARA EL ROBOT CILÍNDRICO.

TABLA. II.II CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE SENSORES Y EJEMPLOS

TABLA. III.I ASIGNACIÓN DE VALORES A CADA ESLABÓN SEGÚN LOS
PARÁMETROS D_H

TABLA. IV.I CODIFICACIÓN PARA LAS SEÑALES DE CONTROL PROVENIENTES DE
LA DAQ.

TABLA. IV.II CARACTERÍSTICAS DE LOS PUERTOS DAQ 6009

TABLA VI.I PARAMETRIZACION ENCODER DE LAS ARTICULACIONES

TABLA VI.II RESULTADOS DE LAS COORDENADAS FINALES.

TABLA VI.III RESPUESTA PARA DIFERENTES ÁNGULOS INGRESADOS POR CADA
ARTICULACIÓN

TABLA VI.IV. COMPARACIÓN POSICIÓN

TABLA VI.I. DETERMINACIÓN DE ERRORES DE MEDIDA EN ENCODER.

TABLA VI.II COMPARACIÓN DE POSICIÓN DESEADA.

TABLA VI.III COMPARACIÓN DATOS REGISTRADOS DEL SISTEMA CON EL
MODELO MATEMÁTICO.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.

CARACTERÍSTICAS ENCODER ECG 3100.

ANEXO 2.

CURVAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES TRIGGER CD40106

ANEXO 3.

CARACTERÍSTICAS CONTROLADOR PUENTE H L298N.

ANEXO 4.

CONTROL BIDIRECCIONAL MOTOR DC

ANEXO 5.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PROGRAMACIÓN DE LOS PICS 1Y2

ANEXO 6.

CÓDIGO EN ENSAMBLADOR PARA LOS PICS 1Y2

ANEXO 7.

PLACAS CORRESPONDIENTES A LA TARJETA DE CONTROL E INTERFAZ.

ANEXO 8.

CONFIGURACIÓN INSTALACIÓN DAQ 6009.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el desarrollo e introducción de la electrónica en todos los campos y en especial en la industria hace que cada día vayan apareciendo nuevas formas de controlar procesos o realizar determinadas tareas.

Controlar a distancia un proceso, es algo nuevo en la industria ecuatoriana, por varias razones como el desconocimiento de esta tecnología, el costo que involucra implementar esta tecnología en las industrias, costo que puede ser compensado por las ventajas que puede presentar este tipo de sistemas como una supervisión constante de los procesos, la capacidad de suspender procesos que presenten errores en horarios no laborables, dar mayor seguridad a empleados o supervisores que trabajan en zonas de riesgo.

En este trabajo se presenta una aplicación que involucra el control de un manipulador a distancia, comenzando con una breve explicación del contenido de los capítulos que conforman este documento.

El capítulo I, hace una referencia al planteamiento del problema, la justificación, el objetivo general, objetivos específicos que aclaran lo que se quiere lograr con esta investigación y por último la hipótesis que se comprobaba al termino del desarrollo de la aplicación.

El capítulo II, concerniente al marco teórico fundamenta las bases para el desarrollo del proyecto.

El capítulo III, presenta el estudio del manipulador detallando las características que este posee para poder ser acondicionado de tal manera que se logre controlar mediante la aplicación que se desarrollara.

En el capítulo IV, se plantea el esquema del proyecto en el que se muestra las partes que componen la aplicación, así como el diseño de los circuitos que se desarrollaran, los códigos de activación que se emplearan, los códigos en ensamblador para los PICs y la configuración de las tarjetas que se utilizaran.

El capítulo V, describe la implementación del sistema donde se indica cómo se acoplan todas las tarjetas desarrolladas, con la interfaz del Brazo manipulador, con la aplicación desarrollada en labview y con la tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009.

En el capítulo VI, se muestran los resultados obtenidos al momento de probar el sistema.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.

1.1. ANTECEDENTES.

El desarrollo en la industria ha hecho que cada día las empresas e industrias vayan adoptando equipos electrónicos y programas que ayudan en el desempeño de tareas algunas de ellas repetitivas, es por tal razón que cada año se impulsa el mejoramiento de la tecnología en los sistemas de producción, y se optan por sistemas que controlen de forma autónoma determinados procesos, en los cuales se pueda llevar un monitoreo efectivo de las operaciones que se estén realizando. Por lo que se hace imprescindible profundizar en el conocimiento de los sistemas de control automático los cuales permiten un mejor desempeño de máquinas y personal involucrado en los procesos de producción.

La instrumentación virtual es una de las opciones para realizar sistemas de automatización y control de procesos. Aplicaciones como LABVIEW, proveen una

interfaz entre el hombre y las maquinas donde el tiempo de respuesta es primordial, y para ello este tipo de aplicaciones necesitan de tarjetas de adquisición de datos para ser el puente entre el software y los equipos y así mejorar el rendimiento en los sistemas automatizados actuales.

La manipulación a distancia puede ser una opción acertada en algunas industrias, donde el ser humano supervisor corre riesgo de sufrir daños por reacciones químicas tóxicas u otros procesos que en la industria pudiera darse. Por ello es necesario que se inicie en el campo de la manipulación teleoperada con el objetivo de salvaguardar la integridad de la persona que funge como supervisor u operario del proceso.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.

El proyecto que se plantea es un sistema de control para un brazo robótico que maneja 5 grados de libertad al cual será posible manejar desde el internet utilizando las características de labview.

Tiene como objetivo implementar una forma de control de tipo remota para controlar un sistema articulado valiéndose de una red de computadores a la cual se pueda acceder mediante una aplicación desarrollada en un software de control como LABVIEW la cual será la interface entre el sistema articulado y el usuario y así poder estar en contacto con el módulo a ser operado desde cualquier punto de acceso de la red de computadoras.

Para estar a la par con el desarrollo y avance de la tecnología en lo que son sistemas de control automático, es necesario aplicar los conocimientos adquiridos en las aulas como politécnicos desarrollando proyectos que ayuden en el mejoramiento de técnicas y sistemas de control utilizando nuevas formas de manejar el entorno relacionado al control de equipos o procesos dentro de la industria. Ya que en la actualidad el uso de laboratorios virtuales los cuales permiten que el estudiante ponga en práctica sus conocimientos adquiridos en las aulas sin tener que esperar un horario establecido para poder acceder físicamente a los laboratorios.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivos generales:

DISEÑAR E IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE CONTROL PARA UN BRAZO ROBÓTICO DE 5 GRADOS DE LIBERTAD UTILIZANDO LABVIEW E INTERNET.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Estudiar las características de operación de elementos controlados de forma remota.
- Determinar y acondicionar las señales de entrada y salida que sean necesarias para generar los movimientos básicos del brazo robótico de 5 Grados de Libertad.
- Implementar las interfaces para el control del sistema articulado.

- Desarrollar el programa en LABVIEW que permita realizar los movimientos deseados utilizando un servidor y un cliente web.
- Verificar el Funcionamiento y operación del sistema articulado manejado a través de una red de computadoras utilizando LABVIEW.

1.4. HIPÓTESIS

Con el desarrollo de este proyecto permitirá manipular de forma remota cualquier parte del brazo robótico el cual se encuentra conectado a la red mediante un computador.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 AVANCE Y EVOLUCIÓN DE SISTEMAS OPERADOS DE FORMA REMOTA MEDIANTE COMPUTADORES.

Los avances en la tecnología han permitido desarrollar un sin número de aplicaciones en los que se destaca los sistemas de control modernos utilizados en las industrias, la medicina, el agro, en nuestra vida cotidiana y en fin en todo el entorno en el que nos desenvolvemos. Pasando del control realizado por un operador humano en una consola de control (sistemas HMI) en el sitio de la planta a sistemas controlados automáticamente mediante PLCs, autómatas robotizados hasta el control automático efectuado de forma remota por un operador ubicado a varios metros de la planta de producción.

2.1.1.1 Historia y Evolución del control industrial.

En los primeros tiempos de la industrialización las plantas eran supervisadas y controladas manualmente, basándose en las indicaciones de instrumentos instalados en campo, como muestra la Figura II.1 la supervisión requería que el operador estuviera en planta para llevar a cabo el control manual del proceso.

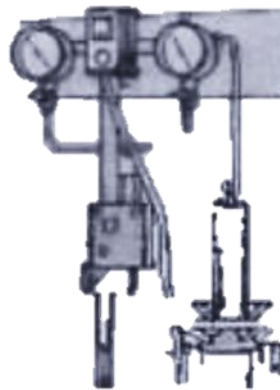


Figura II.1. Sistema de operación manual mediante instrumentos

Fuente: Acedo Sánchez., Instrumentación y Control avanzado de procesos, 2006.

Desarrollos posteriores en la instrumentación, tal como sensores con posibilidad de transmitir las principales variables de proceso (temperatura, presión, nivel, caudal, etc.), así como controladores mecánicos, hidráulicos y neumáticos, contribuyeron en los años cuarenta a la automatización gradual de las plantas, la tendencia de automatización continuó durante los años cincuenta al aparecer los instrumentos electrónicos. Todo ello condujo a la centralización en salas donde se ubicaron los elementos necesarios para llevar a cabo la supervisión y control. La figura II.2 muestra dos paneles con instrumentos analógicos de diferentes tamaños de acuerdo a la evolución en la tecnología.

Con la introducción de señales estándar para transmisión, tanto neumáticas (3 a 15 PSI) como electrónicas (4 a 20 mA), los distintos fabricantes hicieron compatibles los elementos que componen un lazo de control, como sensor, transmisor, controlador, convertidor, elemento final, indicador, registrador, etc. Esto simplificó el diseño, instalación operación y mantenimiento de los sistemas de control industriales.

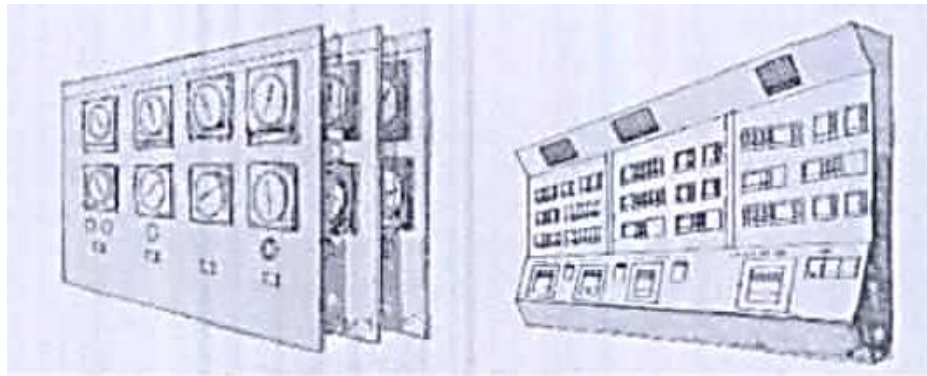


Figura II.2. Tableros de control y medida

Fuente: Acedo Sánchez., Instrumentación y Control avanzado de procesos, 2006.

A medida de los años veinte se utilizó en la industria el control todo-nada, y al final de los años veinte el control proporcional. Los controladores con acciones proporcional, integral y derivativa fueron de uso común en los años treinta. Los valores de referencia (puntos de consigna o SP), podían ser fijados por el operador de planta. La necesidad de comprender los problemas inherentes al ajuste o sintonía de los controladores PID, hizo que apareciera la simulación del lazo de control. Este fue el principio de la teoría sobre sistemas de control. Para el ajuste de los parámetros de control se empezaron a utilizar las reglas de Ziegler Nichols, basada en la sensibilidad del lazo de control (1).

Los sistemas teleoperadores se desarrollaron en los años 40 para manejar materiales radiactivos. Consistían en un par de pinzas “maestra” y “esclava” acopladas por mecanismos que permitían que la pinza “esclava”, en contacto con el material peligroso, reprodujera los movimientos de la pinza “maestra” accionada por un operador detrás de un muro protector con ventanas apropiadas para observar la operación.

El primer tele operador accionado por servomecanismos eléctricos se presentó en 1947. Poco después en 1948, se introdujeron servosistemas con realimentación de fuerza hacia la pinza “maestra” para permitir que el operador percibiera el esfuerzo desarrollado (1).

2.1.1.2. Automatización basada en ordenador.

Desde entonces el ordenador para control de procesos ha evolucionado atreves de diferentes etapas de desarrollo que en «Distributed Computer Control» aparecen identificadas como:

- Etapa inicial 1958 a 1964
- Ordenador centralizado 1965 a 1970
- Miniordenador 1971 a 1975
- Control distribuido desde 1975

Durante mucho tiempo los ordenadores utilizados eran demasiado grandes, lentos, caros e inseguros desde el punto de vista de funcionamiento. Debido a la falta de seguridad solamente podían utilizarse para realizar control supervisorio, es decir,

cálculo de puntos de consigna de controladores tradicionales con tecnología analógica, conectados directamente al proceso.

Con la aparición de nuevos y mejores computadores con tiempos de respuesta y márgenes de procesamiento elevados dieron lugar a la robótica y con el avance en la transmisión de datos surgieron nuevas formas de control.

Así en robots teleoperados las tareas de percepción del entorno, planificación y manipulación compleja son realizadas por humanos. Es decir, el operador actúa en tiempo real cerrando un bucle de control de alto nivel. Los sistemas evolucionados suministran al operador realimentación sensorial del entorno (imágenes, fuerza, distancia). En manipulación se emplean brazos y manos antropomórficos con controladores automáticos que reproducen los movimientos del operador.

Estos robots son interesantes para trabajos en una localización remota (acceso difícil, medios contaminados o peligrosos), en tareas difíciles de automatizar y en entornos no estructurados, tales como las que se realizan en la construcción o en el mantenimiento de líneas eléctricas .

No obstante existen limitaciones por el ancho de banda de la transmisión y, eventualmente, por la complejidad de la tarea del operador.

2.1.2. MORFOLOGÍA DE ROBOTS.

La morfología comprende la descripción de las características básicas de la estructura de los robots incluyendo tanto a manipuladores como móviles. En robots manipuladores se consideran los tipos de articulaciones así como las configuraciones clásicas que para este tipo de robots son empleadas. Un robot

está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales.

Un robot manipulador es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones o elementos de la cadena interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos, articulaciones que permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones (3).

La constitución física de la mayor parte de los robots industriales guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano, por lo que en ocasiones, para hacer referencia a los distintos elementos que lo componen se usan términos como cuerpo, brazo, codo y muñeca.

2.1.2.1 Tipos de articulaciones.

Cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior, se denomina grado de libertad (GDL). En la figura II.3 se indica el número de GDL de cada tipo de articulación.

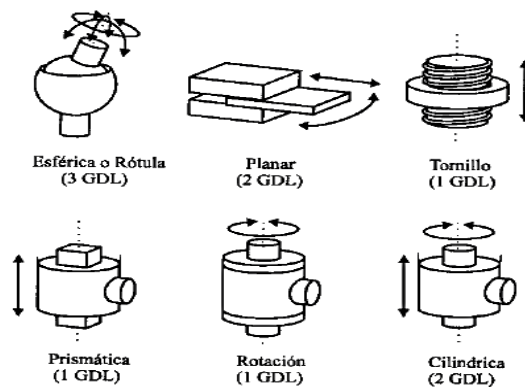


Fig. II.3. Articulaciones con diferentes grados de libertad.

Fuente: Barrientos., Fundamentos de Robótica., 1996

El número de grados de libertad del robot viene dado por la suma de los grados de libertad de las articulaciones que lo componen.

2.1.2.2. Estructuras básicas.

El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación. Las combinaciones más frecuentes son las representadas en la figura II.4 que muestra las tres primeras articulaciones del robot, que son las más importantes a la hora de posicionar su extremo en un punto del espacio.

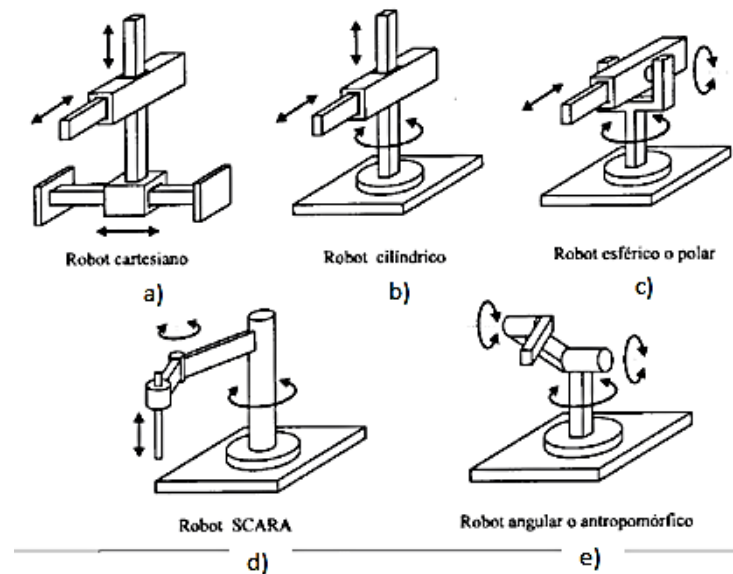


Fig.II.4. Configuraciones más usadas en robots manipuladores.

Fuente: Barrientos., Fundamentos de Robótica., 1996.

Puesto que para posicionar y orientar un cuerpo de cualquier manera en el espacio son necesarios seis parámetros, tres para definir la posición y tres para la orientación, si se pretende que un robot posicione y oriente su extremo (y con él la

pieza o herramienta manipulada) de cualquier modo en el espacio, se precisaran al menos seis DOF.

- **Configuración cartesiana._** Se ilustra en la figura II.4a. La configuración tiene tres articulaciones prismáticas (3D o estructura PPP). Esta configuración es bastante usual en estructuras industriales.
- **Configuración cilíndrica._** esta configuración tiene dos articulaciones prismáticas y una de rotación (2D, 1G). La primera articulación es normalmente de rotación (estructura PPP), como se muestra en la figura II.4.b. La posición se especifica de forma natural en coordenadas cilíndricas.
- **Configuración polar o esférica._** Esta configuración se caracteriza por dos articulaciones de rotación y una prismática (2G, 1D o estructura RRP). En este caso, las variables articulares expresan la posición del extremo del tercer enlace en coordenadas polares, tal como se muestra en la figura II.4.c.
- **Configuración Sacara._** Esta especialmente diseñada para realizar tareas de montaje en un plano. Está constituida por dos articulaciones de rotación con respecto a dos ejes de paralelos, y una de desplazamiento en sentido perpendicular al plano figura II.4d.
- **Configuración angular o antropomórfica._** Esta configuración es una estructura con tres articulaciones de rotación (3G o RRR), tal como se muestra en la figura II.4e. La posición del extremo final se especifica de forma natural en coordenadas angulares.

La estructura tiene un mejor acceso a espacios cerrados y es fácil desde el punto de vista constructivo. Es muy empleada en robots manipuladores

industriales, especialmente en tareas de manipulación que tengan una cierta complejidad. (16).

2.1.3 LOCALIZACIÓN ESPACIAL.

La manipulación de piezas llevada a cabo por un robot implica el movimiento espacial de su extremo. Asimismo, para que el robot pueda recoger una pieza, es necesario conocer la posición y orientación (localización) de esta con respecto a la base del robot. Se aprecia entonces la necesidad de contar con una serie de herramientas matemáticas que permitan especificar la posición y orientación en el espacio de piezas, herramientas y, en general, de cualquier objeto.

2.1.3.1 Representaciones de la posición.

En un plano el posicionamiento tiene dos grados de libertad, y por tanto la posición de un punto vendrá definida por dos componentes independientes. En el caso de un espacio tridimensional será necesario emplear tres componentes.

Un punto queda totalmente definido en el espacio a través de los datos de su posición (6), así, una vez que se establece un sistema de coordenadas, podemos ubicar cualquier punto en el universo con un vector de posición de orden 3×1 . Como es común que definamos muchos sistemas de coordenadas, además del sistema de coordenadas universal, los vectores deben etiquetarse con información que identifique en cual sistema están definidos. Así los vectores se describen con un subíndice a la izquierda que indica el sistema de coordenadas al que hacen

referencia (a menos que quede claro según el contexto); por ejemplo, ${}^A\mathbf{P}$, esto significa que los componentes de ${}^A\mathbf{P}$ tienen valores numéricos que indican distancias sobre los ejes de $\{\mathbf{A}\}$. Cada una de estas distancias sobre un eje puede definirse como el resultado de proyectar el vector sobre el eje correspondiente.

La figura II.5 representa el dibujo de un sistema de coordenadas llamado $\{\mathbf{A}\}$, con tres vectores unitarios mutuamente ortogonales con puntas sólidas.

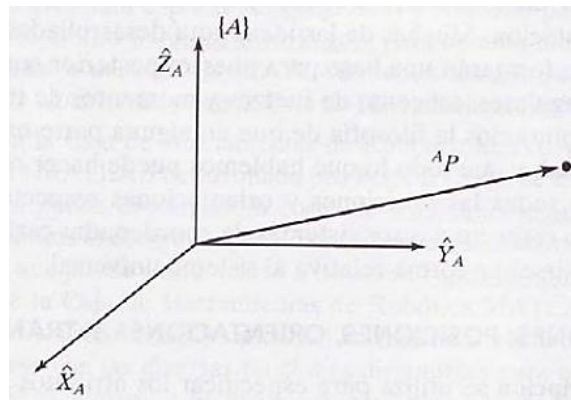


Fig. II.5. Sistema de coordenadas Vectorial

Fuente: Craig, J. Introducción a la robótica., 2006

Un punto ${}^A\mathbf{P}$ se representa como un vector y puede definirse de manera equivalente como una posición en el espacio, o simplemente como un conjunto ordenado de tres números. Dados los subíndices \mathbf{x} , \mathbf{y} y \mathbf{z} , los elementos individuales de un vector son:

$${}^A\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix}$$

Es decir; describe la posición de un punto en el espacio con un vector de posición (11).

2.1.3.2 Sistema cartesiano de referencia.

El sistema de referencia **OXY** correspondiente queda definido por dos vectores coordenados **OX** y **OY** perpendiculares entre sí con un punto de intersección común **O** figura II.6a

Si se trabaja en el espacio (tres dimensiones), el sistema cartesiano **OXYZ** está compuesta por una terna ortonormal de vectores coordenados **OX**, **OY** y **OZ**, tal y como se ve en la figura II.6b. Se trata de una terna ortonormal a derechas.

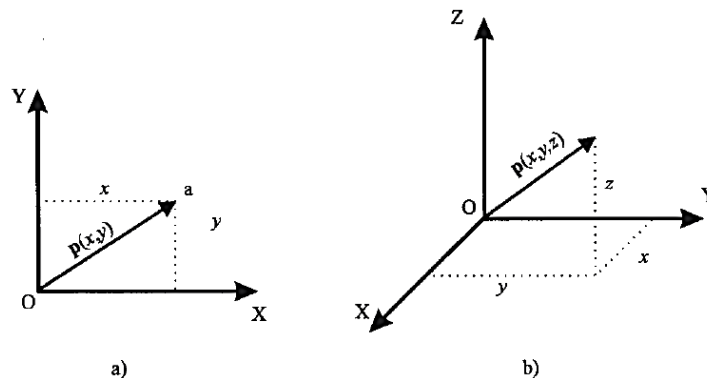


Fig. II.6. Sistema de coordenadas cartesianas

Fuente: Barrientos., Fundamentos de Robótica., 1996.

Coordenadas cartesianas.

Si se trabaja en un plano, con su sistema coordenado **OXY** de referencia asociado, un punto a vendrá expresado por las componentes (x,y) correspondientes a los ejes coordenados del sistema **OXY**. Este punto tiene asociado un vector $p(x,y)$, que va desde el origen **O** del sistema **OXY** hasta el punto a (ver figura II.6a). Por tanto, la posición del extremo del vector **p** está caracterizado por las dos componentes(x,y), denominadas **coordenadas cartesianas** del vector y que son las proyecciones del vector **p** sobre los ejes **OX** y **OY**.

En el caso de que se trabaje en tres dimensiones, un vector tiene definido con respecto al sistema de referencia **OXY** mediante las coordenadas correspondientes a cada uno de los ejes coordenado. En el caso de la figura II.6b, el vector **p** estará definido por las componentes cartesianas (**x, y, z**).

Coordenadas polares y cilíndricas.

Para un plano, es posible también caracterizar la localización de un punto o vector **p** respecto a un sistema de ejes cartesianos de referencia **OXY** utilizando las denominadas coordenadas polares $p(r,\theta)$ figura II.7a. En esta representación, r representa la distancia desde el origen o del sistema hasta el extremo del vector **p**, mientras que θ es el ángulo que forma el vector **p** con el eje **OX**.

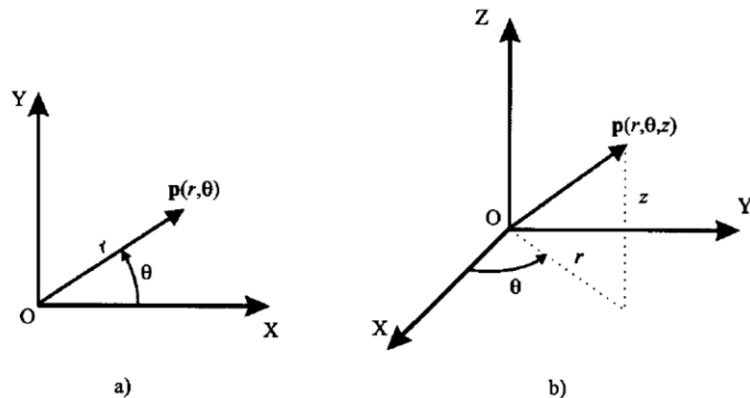


Fig. II.7. Sistema de coordenadas polares

Fuente: Barrientos., Fundamentos de robótica., 1996

En el caso de trabajar en tres dimensiones, un vector **p** podrá expresarse con respecto a un sistema de referencia **OXYZ**, mediante las coordenadas cilíndricas $p(r,\theta,z)$ figura II.7b. Las componentes r y θ tienen el mismo significado que en el caso de coordenadas polares, aplicado el razonamiento sobre el plano **OXY**, mientras que la componente z , expresa la proyección sobre el eje **OZ** del vector **p**.

Coordenadas esféricas.

Utilizando el sistema de referencia **OXYZ**, el vector p tendrá como coordenadas esféricas (r, θ, Φ) , donde la componente r es la distancia desde el origen **O** hasta el extremo del vector p ; la componente θ es el ángulo formado por la proyección del vector p sobre el plano **OXY** con el eje **OX**; y la componente Φ es el ángulo formado por el vector p con el eje **OZ** figura II.8.

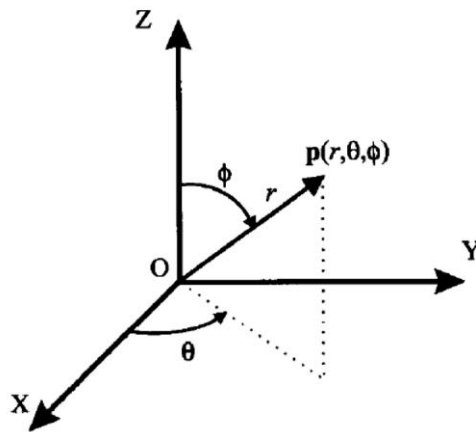


Fig. II.8. Representación Coordenadas cilíndricas.

Fuente: Barrientos., Fundamentos de robótica., 1996

2.1.3.3 Representación de la Orientación.

Para el caso de un sólido, es necesario además definir cuál es su orientación con respecto a un sistema de referencia. En el caso de un robot, no es suficiente con especificar cuál debe ser la posición de su extremo, sino que en general, es también necesario indicar su orientación. Una orientación en el espacio tridimensional viene definida por tres grados de libertad o tres componentes linealmente independientes. Para poder describir de forma sencilla la orientación de un objeto

respecto a un sistema de referencia, es habitual asignar solidariamente al objeto un nuevo sistema, y después estudiar la relación espacial existente entre los dos sistemas. De forma general, esta relación vendrá dada por la posición y orientación del sistema asociado al objeto respecto al de referencia. Para el análisis de los distintos métodos de representar orientaciones se supondrá que ambos sistemas coinciden en el origen, y que por tanto no existe cambio alguno de posición entre ellos (3).

A menudo necesitamos representar no solamente un punto en el espacio, sino también describir la orientación de un cuerpo en el espacio. Por ejemplo, si el vector ${}^A\mathbf{P}$ de la figura II.9 ubica el punto directamente entre las puntas de los dedos de la mano de un manipulador, la ubicación completa de la mano no se especifica sino hasta que se proporciona también su orientación. Suponiendo que el manipulador tiene un número suficiente de articulaciones, la mano podría orientarse arbitrariamente y al mismo tiempo podría mantenerse el punto entre las puntas de los dedos en la misma posición.

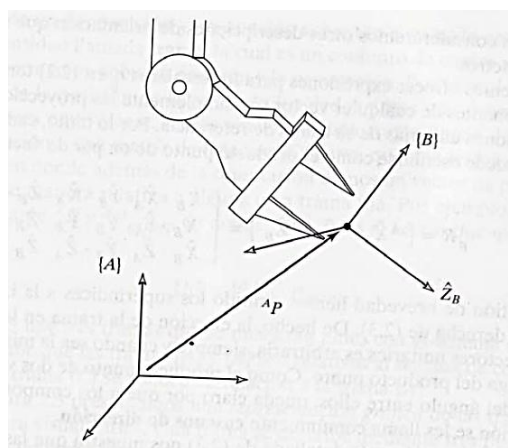


Fig. II.9. Ubicación efector final mediante un sistema de referencia.

Fuente: Craig, J., Introducción a la robótica., 2006

En el espacio. Para describir la orientación de un cuerpo, adjuntaremos un sistema de coordenadas al cuerpo y luego daremos una descripción de este sistema de coordenadas relativo al sistema de referencia. En la figura II.9 se ha adjuntado el sistema de coordenadas **{B}** al cuerpo de una manera conocida. Ahora basta con una descripción de **{B}** relativo a **{A}** para dar la orientación del cuerpo.

Por ende, las posiciones de los puntos se describen con vectores, y las orientaciones de los cuerpos con un sistema de coordenadas adjunto. Una manera de describir el sistemas de coordenadas **{B}** adjunto al cuerpo es escribiendo los vectores unitarios de sus tres ejes principales en términos del sistema de coordenadas **{A}**.

2.1.3.4 Matrices de rotación.

Las matrices de rotación son el método más extendido para la descripción de orientaciones, debido principalmente a la comodidad que proporciona el uso del algebra matricial.

Supóngase que se tiene en el plano dos sistemas de referencia **OXY** y **OUV** con un mismo origen **O**, siendo el sistema **OXY** el de referencia fijo y el sistema **OUV** el móvil solidario al objeto (figura II.10a).

Los vectores unitarios de los ejes coordenados del sistema **OXY** son \hat{i}_x, \hat{j}_y , mientras que los del sistema **OUV** son \hat{i}_u, \hat{j}_v .

Un vector **p** del plano se puede representar en ambos sistemas como:

$$\mathbf{p}_{xy} = [p_x, p_y]^T = p_x \cdot \mathbf{i}_x + p_y \cdot \mathbf{j}_y$$
$$\mathbf{p}_{uv} = [p_u, p_v]^T = p_u \cdot \mathbf{i}_u + p_v \cdot \mathbf{j}_v$$

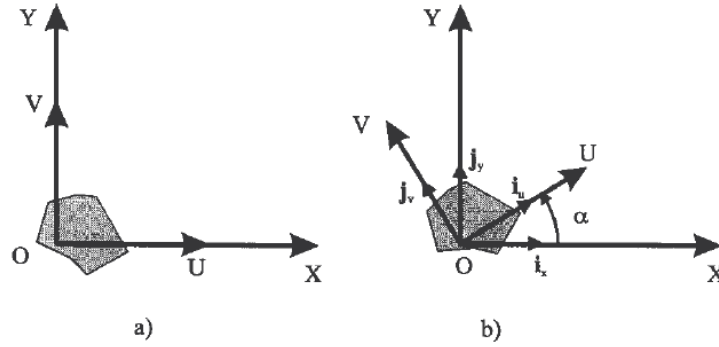


Fig. II.10. Sistema de coordenadas rotadas uno respecto al otro

Fuente: <http://ciecfie.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/Robotica.pdf>

Realizando una sencilla serie de transformaciones se puede llegar a la siguiente equivalencia:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} p_u \\ p_v \end{bmatrix}$$

dónde:

$$R = \begin{bmatrix} \mathbf{i}_x \mathbf{i}_u & \mathbf{i}_x \mathbf{j}_v \\ \mathbf{j}_y \mathbf{i}_u & \mathbf{j}_y \mathbf{j}_v \end{bmatrix}$$

es la llamada matriz de rotación. También recibe el nombre de matriz de cosenos directores. Es fácil de comprobar que se trata de una matriz ortonormal, tal que $R^{-1} = R^T$.

En el caso de dos dimensiones, la orientación viene definida por un único parámetro independiente. Si se considera la posición relativa del sistema **OUV** girado un ángulo sobre el **OXY** figura II.10b, tras realizar los correspondientes productos escalares, la matriz R será de la forma.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Para el caso en que $\alpha = 0$, en el que los ejes coordenados de ambos sistemas coinciden, la matriz \mathbf{R} corresponderá a la matriz unitaria.

En un espacio tridimensional, el razonamiento a seguir es similar, siendo el **OXYZ** el sistema de referencia fijo, y el **OUVW** el solidario al objeto cuya orientación se desea definir, (figura II.11). Los vectores unitarios del sistema **OXYZ** serán $\hat{i}_x, \hat{j}_y, \hat{k}_z$, mientras que los del **OUVW** serán $\hat{i}_u, \hat{j}_v, \hat{k}_w$. Un vector \mathbf{p} del espacio podrá ser referido a cualquiera de los sistemas de la siguiente manera:

$$\mathbf{P}_{uvw} = [p_u, p_v, p_w]^T = p_u \cdot \hat{i}_u + p_v \cdot \hat{j}_v + p_w \cdot \hat{k}_w$$

$$\mathbf{P}_{xyz} = [p_x, p_y, p_z]^T = p_x \cdot \hat{i}_x + p_y \cdot \hat{j}_y + p_z \cdot \hat{k}_z$$

Y al igual que en dos dimensiones, se puede obtener la siguiente equivalencia:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} P_u \\ P_v \\ P_w \end{bmatrix}$$

Dónde:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \hat{i}_x \hat{i}_u & \hat{i}_x \hat{j}_v & \hat{i}_x \hat{k}_w \\ \hat{j}_y \hat{i}_u & \hat{j}_y \hat{j}_v & \hat{j}_y \hat{k}_w \\ \hat{k}_z \hat{i}_u & \hat{k}_z \hat{j}_v & \hat{k}_z \hat{k}_w \end{bmatrix}$$

es la matriz de rotación que define la orientación del sistema **OUVW** con respecto al sistema **OXYZ**, también recibe el nombre de matriz de cosenos directores y se trata de una matriz ortonormal, tal que la inversa de la matriz \mathbf{R} es igual a su transpuesta $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$.

La principal utilidad de esta matriz de rotación corresponde a la representación de la orientación de sistemas girados únicamente sobre uno de los ejes principales del sistema de referencia.

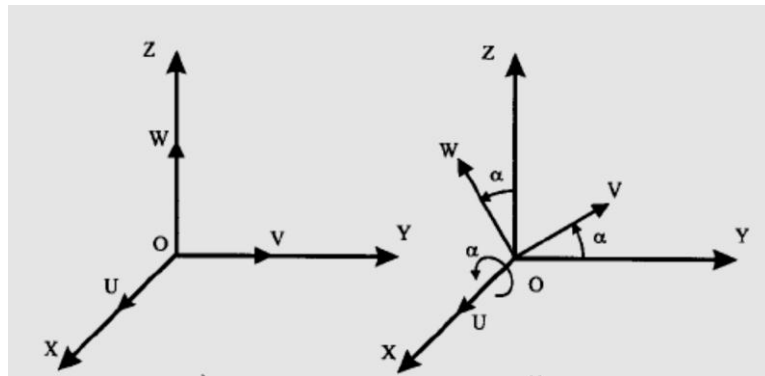


Fig. II.11. Sistema de coordenadas solidarios.

Fuente: Barrientos., Fundamentos de Robótica., 1996.

2.1.4 MODELO CINEMÁTICO DIRECTO DE ROBOTS MANIPULADORES.

Existen dos problemas fundamentales a resolver en la cinemática del robot figura II.12 el primero de ellos se conoce como el problema cinemático directo, y consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot; el segundo, denominado problema cinemático inverso, resuelve la configuración que debe adoptar el robot para una posición y orientación del extremo conocidas.

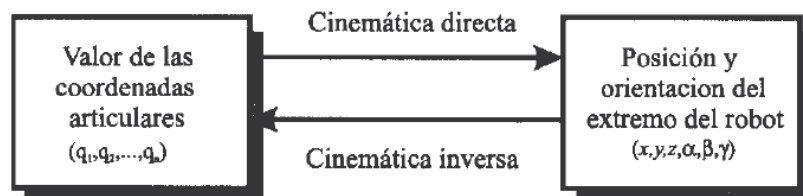


Fig. II.12. Relación cinemática inversa y directa.

Fuente: Barrientos., Fundamentos de robótica., 1996

Denavit y Hartenberg propusieron un método sistemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, con respecto a un sistema de referencia fijo, reduciéndose el problema cinemático directo a encontrar una matriz de transformación homogénea 4x4 que relaciona la localización espacial del extremo del robot con respecto al sistema de coordenadas de su base (3).

2.1.4.1 Modelo Cinemático directo del manipulador.

Viene dado por una función que permite expresar la posición y orientación del sistema de referencia objetivo en el espacio cartesiano (operacional o de la tarea) \mathbf{p} en términos de \mathbf{q} :

$$\mathbf{p} = \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{q})$$

Siendo $\boldsymbol{\varphi}$ un conjunto de funciones no lineales. Conocidas las variables articulares (entradas), se desea saber dónde está el manipulador.

Para construir el modelo directo existen dos alternativas típicas:

- Utilización de relaciones específicas del robot: Consiste en el empleo de las relaciones geométricas que puedan establecerse en el robot de que se trate.
- Método general: Se trata de emplear matrices de transformación que relacionan sistemas de referencia tal como se ha expuesto anteriormente.

2.1.4.2 Modelo de un robot manipulador con n articulaciones.

Un robot articulado puede describirse definiendo cuatro magnitudes asociadas a cada articulación. Una de estas magnitudes es la variable de la articulación y las restantes son parámetros fijos para cada robot figura II.13.

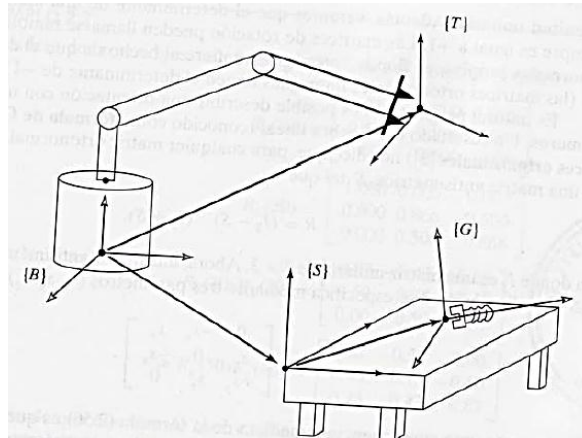


Fig. II.13. Sistema de coordenadas para localizar un objeto.

Fuente: Barrientos., Introducción a la robótica., 2006

La grafica anterior muestra estos parámetros que permiten definir una representación de las relaciones de traslación y rotación entre los enlaces adyacentes. A esta relación se le denomina representación de Denavit-Hartenberg.

2.1.4.3 Resolución del problema cinemático directo mediante matrices de transformación homogénea.

La resolución del problema cinemático directo consiste en encontrar las relaciones que permiten conocer la localización espacial del extremo del robot a partir de los valores de sus coordenadas articulares.

La obtención de estas relaciones no es en general complicada, siendo incluso en ciertos casos (robot de pocos GDL) fácil de encontrar mediante simples consideraciones geométricas. Por ejemplo, para el caso de un robot de 2GDL figura II.14, es fácil comprobar que:

$$x = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2)$$

$$y = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2)$$

Para robots de más grados de libertad puede plantearse un método sistemático basado en la utilización de las matrices de transformación homogénea.

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & 0 \\ S\theta_i & C\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En general, un robot de n grados de libertad está formado por n eslabones unidos por n articulaciones, de forma que cada par articulación-eslabón constituye un grado de libertad. A cada eslabón se le puede asociar un sistema de referencia solidario a él y, utilizando las transformaciones homogéneas, es posible representar las rotaciones y traslaciones relativas entre los distintos eslabones que componen el robot. Normalmente, la matriz de transformación homogénea que representa la posición y orientación relativa entre los sistemas asociadas a dos eslabones consecutivos del robot se suele denominar matriz ${}^{i-1}A_i$. Así pues,

0A_1 describe la posición y orientación del sistema de referencia solidario al primer eslabón con respecto al sistema de referencia a la base, 1A_2 describe la orientación y posición del segundo eslabón respecto del primero, etc. Del mismo modo, denominando 0A_k a las matrices resultantes del producto de las matrices ${}^{i-1}A_i$ con i desde 1 hasta k , se puede representar de forma total o parcial la cadena cinemática que forma el robot. Así, por ejemplo, la posición y orientación del sistema solidario con el segundo eslabón del robot con respecto al sistema de coordenadas de la base se puede expresar mediante la matriz 0A_2 :

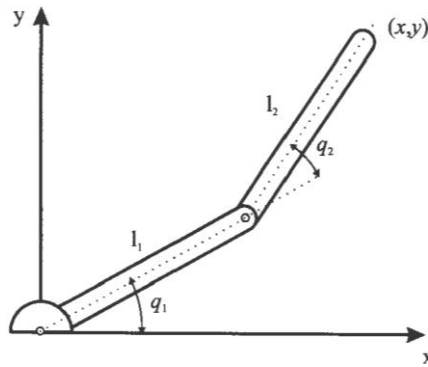


Fig. II.14. Robot planar de 2 grados de libertad.

Fuente: <http://ciecfie.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/Robotica.pdf>

$${}^0A_2 = {}^0A_1 {}^1A_2$$

De manera análoga, la matriz 0A_3 representa la localización del sistema del tercer eslabón:

$${}^0A_3 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3$$

Cuando se consideran todos los grados de libertad, a la matriz 0A_n se le suele denominar **T**. Así dado un robot de seis grados de libertad, se tiene que la posición y orientación del eslabón final vendrá dada por la matriz **T**:

$$T = {}^0A_6 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5 {}^5A_6$$

Aunque para describir la relación que existe entre dos elementos contiguos se puede hacer uso de cualquier sistema de referencia ligado a cada elemento, la forma habitual que se suele utilizar en robótica es la representación de Denavit-Hartenberg (D-H).

Estas transformaciones básicas consisten en una sucesión de rotaciones y traslaciones que permiten relacionar el sistema de referencia del elemento i con el sistema del elemento $i-1$. Las transformaciones en cuestión son las siguientes (es importante recordar que el paso del sistema $\{S_{i-1}\}$ al $\{S_i\}$ mediante estas cuatro transformaciones está garantizado solo si los sistemas $\{S_{i-1}\}$ y $\{S_i\}$ han sido definidos de acuerdo a unas normas determinadas).

2.1.4.4 Algoritmo de Denavit-Hartenberg para la obtención del modelo cinemático directo.

Denavit y Hartenberg propusieron en 1955 un método matricial que permite establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas $\{S_i\}$ ligado a cada eslabón i de una cadena articulada, pudiéndose determinar a continuación las adecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

D-H 1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se enumerará como eslabón 0 a la base fija del robot.

D-H 2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n .

D-H 3. Localizar el eje de cada articulación. Si esta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

D-H 4. Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.

D-H 5. Sitúa el origen del sistema de la base S_0 en cualquier punto del eje z_0 , los ejes x_0 e y_0 se situaran del modo que formen un sistema dextrógiro con z_0 .

D-H 6. Para i de 1 a $n-1$, situar el sistema S_i (*solidario al eslabon i*) en la intersección del eje z_i con la línea normal a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría S_i en el punto de corte. Si fuesen paralelos S_i se situarían en la articulación $i+1$.

D-H 7. Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .

D-H 8. Situar de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .

D-H 9. Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_0 coincida con la dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .

D-H 10. Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} y x_i queden paralelos.

D-H 11. Obtener d_i como la distancia medida a lo largo de z_{i-1} , que habría que desplazar S_{i-1} para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.

D-H 12. Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincidiese con $\{S_i\}$.

D-H 13. Obtener α_i como el ángulo que habría que girar entorno a x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}), para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese totalmente con $\{S_i\}$.

D-H 14. Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}A_i$ definidas en.

D-H 15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0A_1, {}^1A_2, \dots, {}^{n-1}A_n$.

D-H 16. La matriz **T** define la orientación (sub matriz de rotación) y posición (sub matriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares figura II.15.

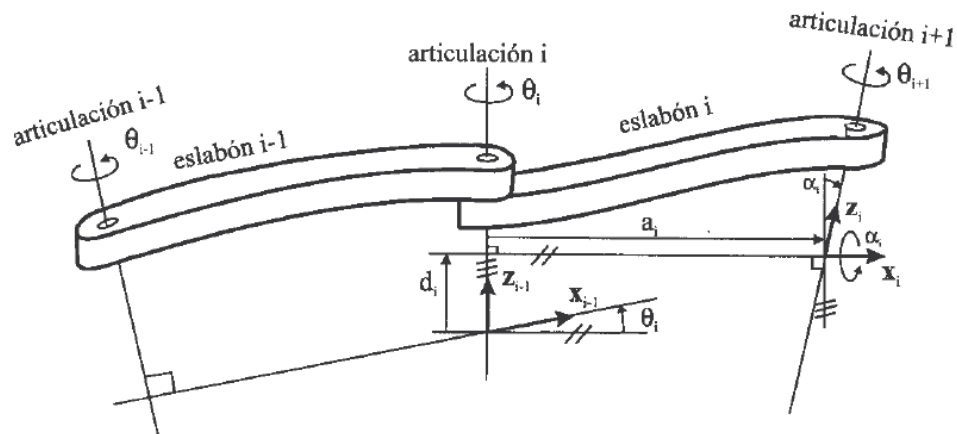


Fig. II.15. Representación parámetros de D_H

Fuente: <http://ciecfie.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/Robotica.pdf>

Los cuatro parámetros de D-H ($\theta_i, d_i, a_i, \alpha_i$) dependen únicamente de las características geométricas de cada eslabón y de las articulaciones que le unen con el anterior y siguiente:

θ_i Es el ángulo que forman los ejes x_{i-1} y x_i medido en un plano perpendicular al eje z_{i-1} , utilizando la regla de la mano derecha. Se trata de un parámetro variable en articulaciones giratorias.

d_i Es la distancia a lo largo del eje z_{i-1} desde el origen del sistema de coordenadas $(i-1)$ esimo hasta la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i se trata de un parámetro variable en articulaciones prismáticas.

a_i Es la distancia a lo largo del eje x_i que va desde la intersección del eje z_{i-1} con el eje x_i hasta el origen del sistema i-ésimo, en el caso de articulaciones giratorias. En el caso de articulaciones prismáticas, se calcula como la distancia más corta entre los ejes z_{i-1} y z_i .

α_i Es el ángulo de separación del eje z_{i-1} y el eje z_i , medido en un plano perpendicular al eje x_i , utilizando la regla de la mano derecha.

Una vez obtenidos los parámetros **D-H**, el cálculo de las relaciones entre los eslabones consecutivos del robot es inmediato, ya que vienen dadas por las matrices **A**, que se calculan según la expresión general. Las relaciones entre eslabones no consecutivos vienen dadas por las matrices **T** que, como ya se comentó anteriormente, se obtienen como producto de un conjunto de matrices **A**. Obtenida la matriz **T**, esta expresará la orientación (sub matriz (3x3) de rotación) y posición (sub matriz (3x1) de traslación) del extremo del robot en función de sus coordenadas articulares, con lo que quedará resuelto el problema cinemático directo.

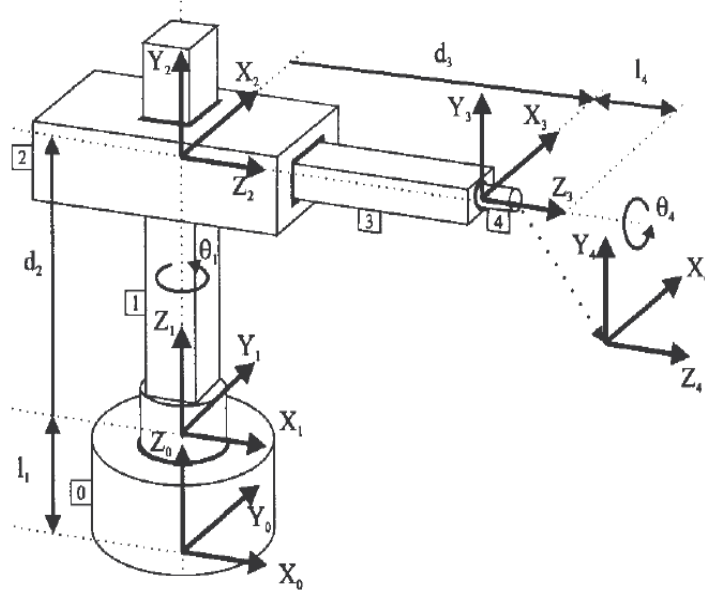


Fig. II.16 Robot cilíndrico

Fuente: <http://ciecfie.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/Robotica.pdf>

Tabla II.I Parámetros **D-H** para el robot cilíndrico de la figura II.16.

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	l_1	0	0
2	90	d_2	0	90
3	0	d_3	0	0
4	q_4	l_4	0	0

Fuente: <http://ciecfie.epn.edu.ec/Material/4toNivel/Robotica/Robotica.pdf>

2.1.5 SENSORES.

Para conseguir que el robot realice su tarea con la adecuada precisión es preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno. Los sensores permiten la adquisición de la información necesaria para el control del robot. En el estudio de los sensores involucra la medida de las magnitudes y su representación en forma compatible para su procesamiento.

En la toma de medidas siempre existe un cierto grado de incertidumbre. En principio, el incremento de la información hace posible la reducción de la incertidumbre.

Para ello se trata de tomar más medidas o de emplear sensores redundantes (17).

2.1.5.1 Clasificación y características de los sensores.

El empleo de fuentes de energía adicional a la señal de entrada permite realizar una primera clasificación de sensores. Así existen sensores que realizan la conversión directa de la energía de la señal. Como ejemplo, cabe mencionar las células fotoeléctricas de selenio. Para el funcionamiento básico de estos sensores no se requiere fuente de potencia adicional. Producen salida cero para entrada cero.

Sin embargo, en otros casos, se requiere una modulación con un aporte de energía con fuente diferente de la señal de entrada. Este principio es de interés para realizar medidas con señal débil. (3).

Tabla. II.II. Criterios de clasificación de sensores y ejemplos.

Sensores	Magnitudes						
	Posicion velocidad desplazamiento	Velocidad	Aceleracion Vibracion	Temperatura	Presion	Caudal Flujo	Nivel
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas+ masa-resorte	RTD Termistores	Potenciómetros +tubo bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas+voladizo Termistores	Potenciometro +flotador Termistores LDR
Capacitivos	Condensador Diferencial				Condensador Variable + diafragma		Condensador Variable
Inductivos y electromagnéticos	LVDT Corrientes Foucalt Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley de Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucalt	LVDT + masa-resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucalt
Generadores			Piezo electricos + masa-resorte	Termopares Piroelectricos	Piezoelectricos		Piezoelectricos
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vertices	
Uniones p-n	Fotoelectricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoelectricos
Ultrasonidos	Reflexion	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo transito Vertices	Reflexion Absorcion

Fuente: Ramón Pallas Areni., Adquisición y distribución de señales., 1994.

La tabla II.II muestra los distintos tipos de sensores, y las variables que se pueden medir y la tecnología con la que se realizan estas mediciones.

Proceso de calibración: consiste en realizar la comparación de la respuesta del sensor con otros que tienen una respuesta estándar conocida; de esta manera se establece la relación entre la variable medida por el sensor y su señal de salida (17).

2.1.5.2 Sensores de desplazamientos lineales y giros.

Son divisores de potencial, miden el desplazamiento mediante la variación de una resistencia, empleando una pista resistiva con un contacto móvil sobre la pista. Cabe distinguir entre potenciómetros lineales y rotatorios, según se pretenda medir un giro o un desplazamiento, tal como se muestra en la figura II.17.

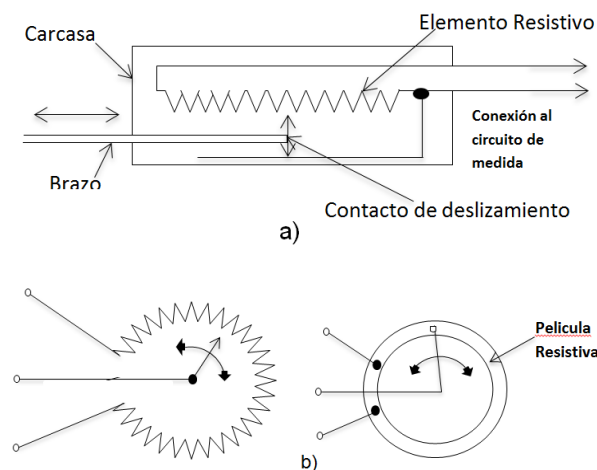


Figura II.17 Potenciómetro: a) lineal; b) giratorio.

Fuente: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

En la fig.II.18 se ilustra el principio del potenciómetro lineal. Si se aplica una tensión V_e en la pista resistiva, se obtiene V_s en el contacto como función de la posición. El desplazamiento se obtiene como

$$L_l = \frac{R_l L_T}{R_T} = \frac{V_s L_T}{V_e}$$

Siendo R_T la resistencia total entre extremos de la pista resistiva, R_l la resistencia entre el contacto deslizante y el extremo y L_T la longitud total.

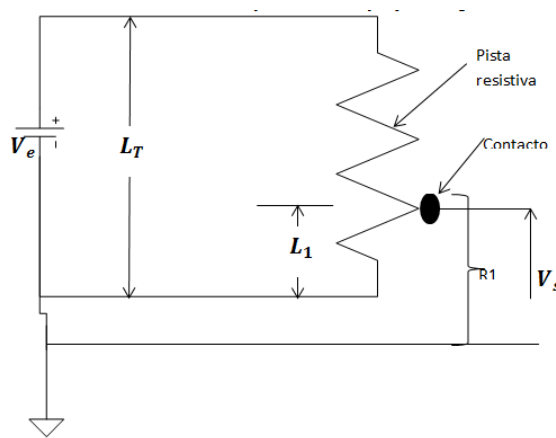


Fig.II.18 Esquema potenciómetro lineal

Fuente: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

Para potenciómetros giratorios el ángulo se obtiene como:

$$\theta_l = \frac{R_l \theta_T}{R_T} = \frac{V_s \theta_T}{V_e}$$

Empleando un hilo enrollado, la salida cambia en escalones al saltar de una espira a la otra. La resolución viene dada por la magnitud del escalón, conviene destacar que las ecuaciones anteriores son correctas si no hay derivación de corriente en los contactos. Para evitar estas derivaciones suelen emplearse amplificadores de alta impedancia de entrada a la salida de los potenciómetros.

Otro aspecto es la dificultad de medir giros de más de 300 grados en una vuelta debido a la necesidad de espacio para los contactos, son de bajo coste, la precisión

es limitada. En potenciómetros de calidad pueden conseguirse errores lineales del 0.1%, presentan problemas de fiabilidad debido a desgaste, fricciones, polvo, etcétera.

La salida que presentan es analógica, por lo que es necesario digitalizar la señal para aplicar control digital (16).

2.1.5.3 Codificadores ópticos.

Convierten un desplazamiento rotacional en una señal digital sin necesidad de convertidor analógico-digital. La medida del desplazamiento se realiza contando las interrupciones de un haz de luz, existen codificadores ópticos rotacionales y lineales, tal como se muestra en la figura II.19.

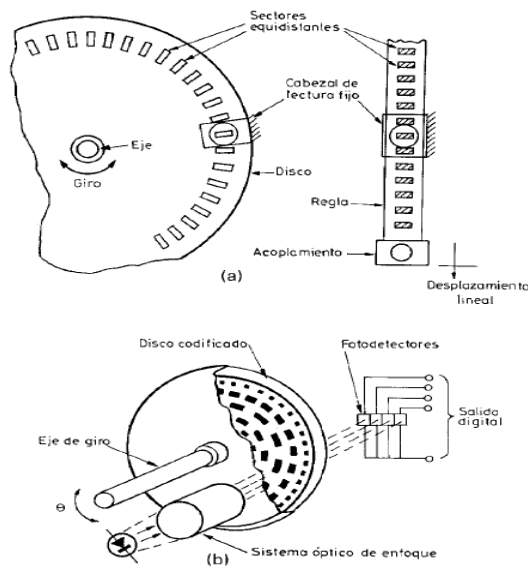


Fig.II.19. Encoders a) Incremental b) Encoder absoluto

Fuente: Pallas Areny., Adquisición y distribución de señales., 1994

Como emisor puede emplearse una fuente incandescente o un diodo. El detector es típicamente un fotodiodo. Para medir el ángulo girado se cuenta el número de transiciones oscuro-luz y luz-oscuro. Con este esquema se conoce el ángulo pero

no se tiene información sobre el sentido de rotación, estos decodificadores, pueden ser absolutos o incrementales.

En los codificadores ópticos absolutos se produce un único código para cada posición angular del eje. En la figura II.19 se muestra un disco giratorio de 4 bits, nótese como permite contar de 0 a 15; es decir 16 desplazamientos diferentes.

La resolución del decodificador depende del número de pares emisor-receptor. Un codificador con diez pistas tendría $2^{10} = 1024$ códigos por revolución.

En los decodificadores relativos se requieren solo dos o tres pares detector-emisor.

Sin embargo, es necesario emplear más circuitería y se requiere una inicialización (3).

2.1.5.4 Maquinas síncronas, transformadores y resolvedores.

Se emplean para medir y transmitir eléctricamente con elevada precisión información angular. En estas máquinas existe un rotor excitado por corriente alterna (devanado primario) y dos o más estatores (devanados secundarios) orientados simétricamente alrededor del rotor. Las salidas de los estatores son corrientes alternas cuyas magnitudes definen de forma unívoca el ángulo que gira el rotor en un determinado instante figura II.20.

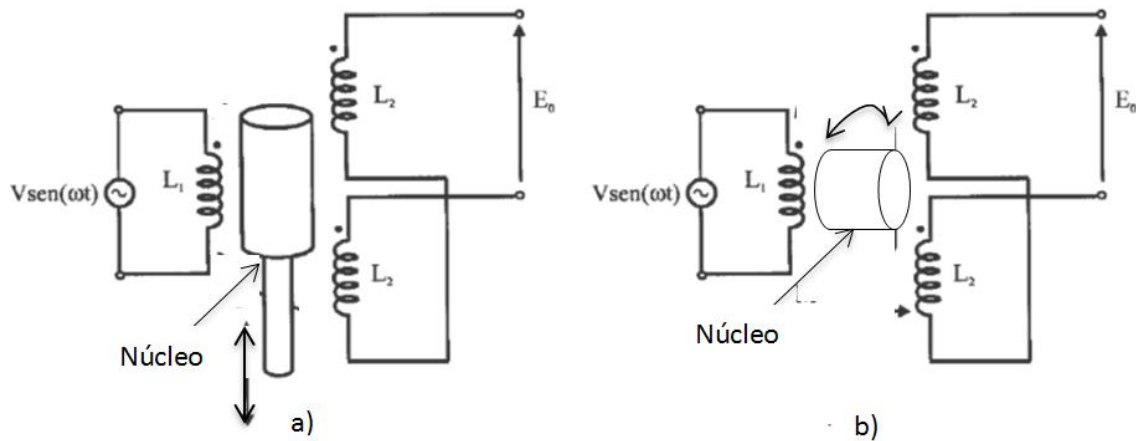


Fig. II.20 Esquema básico de un transformador diferencial variable.

Fuente: Bolton, W., Mecatrónica sistemas de control electrónico., 2003

Los transformadores lineales variables producen una tensión proporcional al desplazamiento de una armadura de hierro que se mueve en el campo creado por una bobina.

Consta de una bobina con un devanado primario y dos devanados secundarios conectados en oposición. La salida es la diferencia de potenciales.

Estos sensores necesitan circuitos para excitar el devanado primario y detectar la amplitud y fase de la salida, la salida es de forma analógica, por lo que debe digitalizarse para aplicar control.

El sensor permite obtener precisiones entre 0,5 y 0,05%. El rango de medida es entre $\pm 0.1\text{mm}$ y $\pm 250\text{mm}$.

Los resolvedores se emplean para medición precisa del desplazamiento angular. Son máquinas síncronas en las que los devanados adoptan una disposición especial, tal como se ilustra en la figura II.21. El estator consiste en dos devanados primarios a 90° a los que se aplica corriente alterna con una diferencia de fase de 90° . En el rotor existe un único devanado en el que se toma la tensión de salida mediante escobillas de anillos deslizantes. La salida es de la misma amplitud que la

entrada pero con una fase cambiada. Normalmente se excita con señal alterna a 50, 400, o 1000Hz.

En la figura II.21 se muestra el rotor girando un ángulo de aproximadamente $\theta = 45^\circ$. En general, cuando el rotor gira un ángulo θ , se genera en el la suma de los componentes de las entradas seno y coseno:

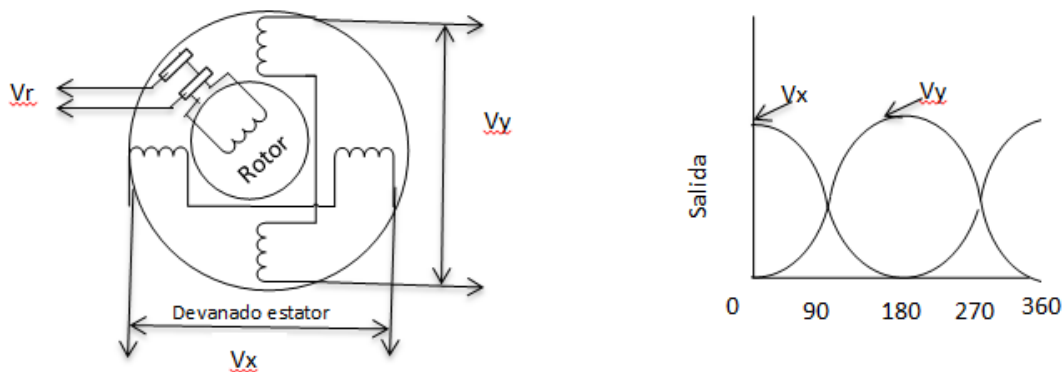


Fig.II.21 Resolver síncrono.

Fuente: Ollero Baturone., Robótica manipuladores y robots móviles., 2007

El ángulo entre el rotor y el campo resultante es $\theta - \omega t$. El potencial inducido es $V \cos(\theta - \omega t)$. Obsérvese como en este sensor también se necesita digitalizar la señal de salida para realizar el control.

Existen resolvers sin escobillas, en estos no existen escobillas ni anillos deslizantes. Se aplica la señal de alterna al rotor mediante un oscilador. La salida se obtiene tomando las componentes seno y coseno inducidos en el estator. El ángulo del rotor puede determinarse a partir de la amplitud de la señal del coseno o del seno. No obstante, para aumentar la precisión de la medida se considera la relación entre ambas señales (16).

2.1.5.5 Sensores de presencia y Proximidad.

Detección de objetos próximos, antes del contacto para agarrar o evitar un objeto:

- Sensores inductivos
- Sensores de efecto Hall.
- Sensores capacitivos
- Sensores ultrasónicos
- Sensores ópticos.

Sensores Inductivos:

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. Consiste en una bobina situada junto a un imán permanente.

En condiciones estáticas no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y no se induce ninguna corriente en la bobina.

Cuando un objeto metálico penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud es proporcional a la velocidad del cambio del flujo.

La forma de onda de la tensión a la salida de la bobina proporciona un medio para detectar la proximidad de un objeto figura II.22.

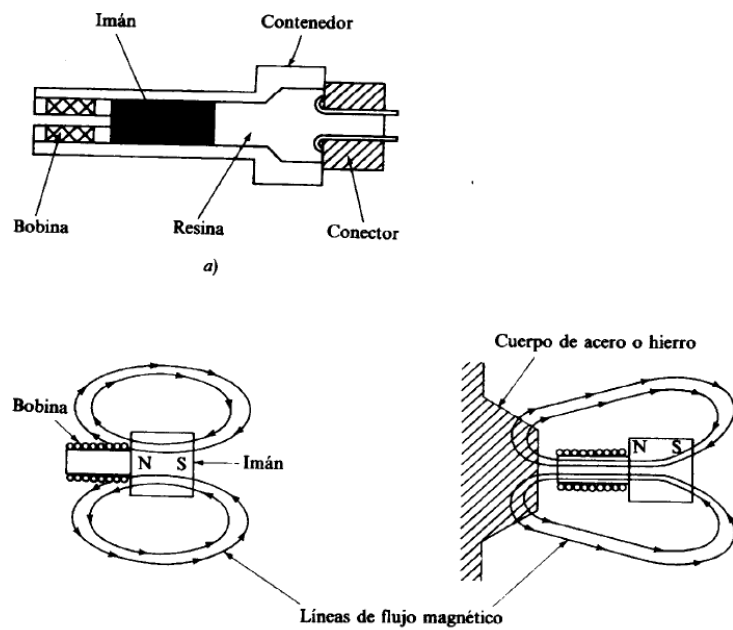


Fig. II.22. Sensores Inductivos.

Fuente: Bolton. W., Mecatrónica sistemas de control electrónico., 2003

Sensores de efecto Hall:

Modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material.

Detección por un sensor de efecto Hall en conjunción con un imán permanente.

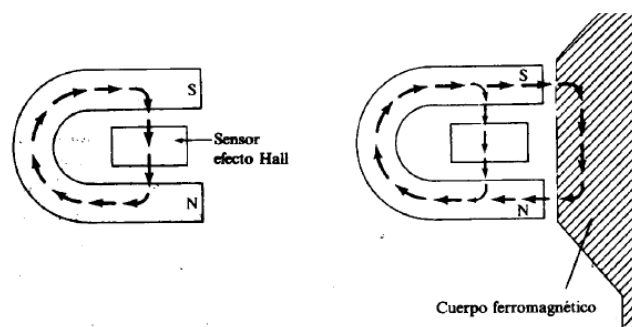


Fig. II.23. Sensores De efecto Hall

Fuente: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

En ausencia de material el sensor de efecto Hall detecta un campo magnético intenso (17).

Sensores Capacitivos:

Modificación de la capacidad de un condensador por presencia de objetos sólidos

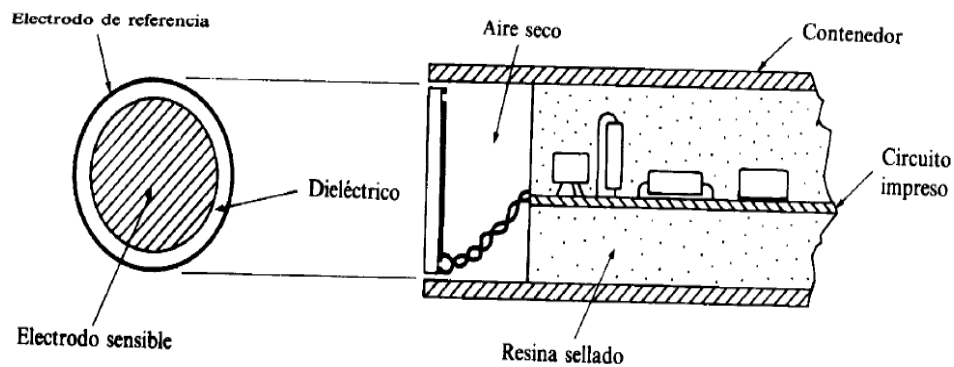


Fig. II.24. Esquema de un sensor capacitivo.

Fuente: <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>

El elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia separados por un dieléctrico, una cavidad de aire seco para aislar y un conjunto de circuitos electrónicos.

$$C = \epsilon_a \frac{S}{d}$$

Utilizado como medidor de desplazamiento, se consigue haciendo que el desplazamiento a medir provoque un desplazamiento en algún componente del condensador => cambio en su capacidad.

El elemento capacitivo es parte de un circuito que es excitado de manera continua por una forma de onda sinusoidal de referencia. Un cambio en la capacidad, produce un desplazamiento de fase entre la señal de referencia y una señal obtenida a partir del elemento capacitivo.

El desplazamiento de fase es proporcional al cambio de capacidad, este cambio se utiliza para detección de proximidad (3).

Sensores de Ultrasonidos: Modificación de la distancia de objetos mediante la detección de ecos de ultrasonidos.

Las ondas ultrasónicas tienen la capacidad de que cuando viajan por un medio cualquiera son reflejadas si encuentran en su camino una discontinuidad o algún elemento extraño.

La reflexión de la onda es debida a la diferencia de impedancias acústicas entre el medio y el objeto. El tiempo de espera entre el envío de la onda ultrasónica hasta su recepción se denomina tiempo de eco, y es utilizado para determinar la distancia al objeto (17).

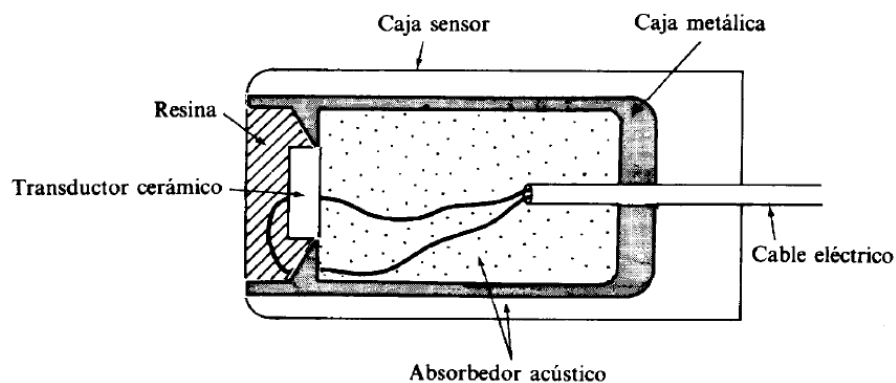


Fig. II.25. Composición sensor ultrasónico.

Fuente: www.filecrop.com/Sensores%20Y%20Acondicionadores%20de%20Sensor%20de%20Ultrasonido.html.

Sensores ópticos de proximidad:

Emisor de luz por diodo LED + recepción por un fotodiodo figura II.26.

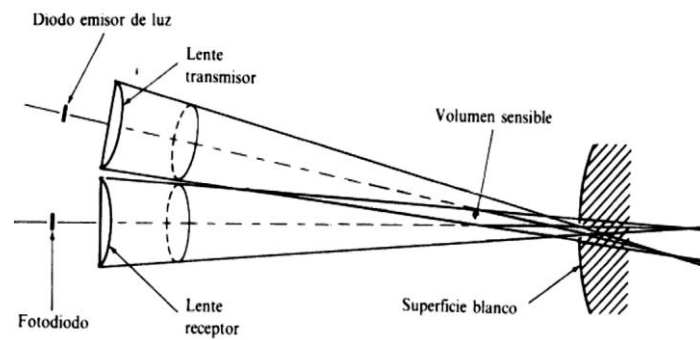


Fig. II.26. Características sensor ópticos.

Fuente: www.bolanosdj.com.ar/TEORIA/SENSORESOPTICOS.PDF

Los conos de luz formados enfocando la fuente y el detector en el mismo plano intersectan en un volumen largo.

Este volumen define el campo de operación del sensor, puesto que una superficie reflectora que intersecta ese volumen se ilumina por la fuente y es vista simultáneamente por el receptor.

Sensor con salida binaria figura II.27 un objeto se detecta cuando se recibe una intensidad de luz superior a un umbral pre-establecido (16).



Fig. II.27. Disposición de elementos en un sensor óptico

Fuente: [www.downloadprovider.me/search/introduccion%20a%20los%](http://www.downloadprovider.me/search/introduccion%20a%20los%20sensores.html?aff.id=1063&aff.subid=110)

[20sensores.html?aff.id=1063&aff.subid=110](http://www.downloadprovider.me/search/introduccion%20a%20los%20sensores.html?aff.id=1063&aff.subid=110)

Sensores de Contacto

Se utilizan para obtener información asociada con el contacto entre la mano manipuladora y objetos en el espacio de trabajo. Dos tipos:

Binarios: informan, responden a la presencia o ausencia de objetos.

Ej.: Microinterruptor en la mano: este tipo de detección es útil para saber si una pieza está entre los dedos figura II.28.

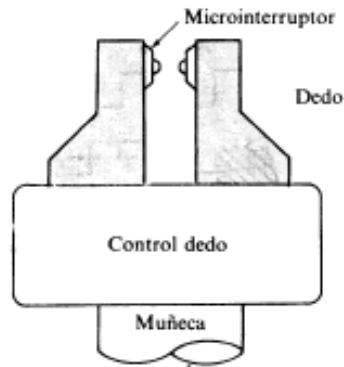


Fig. II.28. Muñeca con micro interruptores para detectar contacto.

Fuente: www.downloadprovider.me/search/introduccion%20a%20los%20sensores.html?aff.id=1063&aff.subid=110

Analógicos: proporcionan una salida proporcional a la fuerza local, detectan no sólo la presencia, sino también la fuerza ejercida (17).

2.1.6 SISTEMAS DE CONTROL.

Desde el punto de vista de la teoría de control, un sistema o proceso está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí que ofrecen señales de salida en función de señales o datos de entrada.

El aspecto más importante de un sistema es el conocimiento de su dinámica, es decir, como se comporta la señal de salida frente a una variación de la señal de entrada figura II.29. Un conocimiento preciso de la relación entrada/salida permite predecir la respuesta del sistema y seleccionar la acción de control adecuada para mejorarla (13).

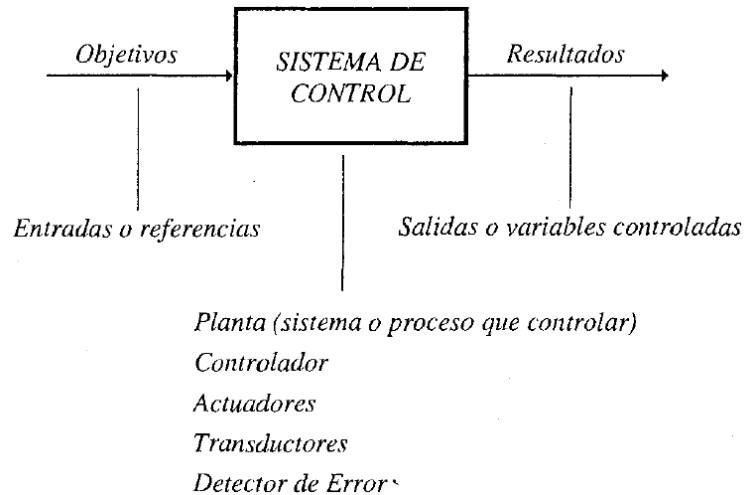


Fig. II.29 Diagrama de un sistema de control

Fuente: www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol_congr/industria/MTODOB~1.PDF

Variable controlada y variable manipulada.- La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado (6).

2.1.6.1 Tipos de señales y sistemas.

Consideremos como señales, las variaciones a lo largo del tiempo de las entradas o salidas de un sistema. Según como se vea la variación de estas señales, podemos clasificarlas dentro de dos grandes grupos: señales analógicas y señales discretas.

Señales analógicas: Son aquellas cuya variación, tanto en amplitud como a lo largo del tiempo, es continua. Es decir, pueden tomar cualquier valor real, en cualquier instante de tiempo.

Señales discretas: Este tipo de señales no tiene una variación continua como las anteriores, sino que su evolución se rige por un determinado conjunto finito de valores posibles. Según tome este conjunto de valores, podremos distinguir entre señales discretas en amplitud o discretas en tiempo.

Señales discretas en tiempo:

Señales discretas en amplitud:

Señales discretas en amplitud y tiempo (6).

2.1.6.2 Sistemas combinacionales y secuenciales.

Los sistemas combinacionales y secuenciales pueden clasificarse como sistemas de control basados en instrucciones lógicas. Las decisiones tomadas por el sistema de control son del tipo on/off y se basan en las condiciones de los datos de entrada.

Dependiendo del tratamiento que el sistema de control realiza con la señal de salida, pueden distinguirse dos topologías de control generales: sistemas en lazo abierto y sistemas en lazo cerrado (13).

2.1.6.3 Sistemas de control en lazo abierto.

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denomina sistema de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en

lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada tal como se muestra en la figura II.30.

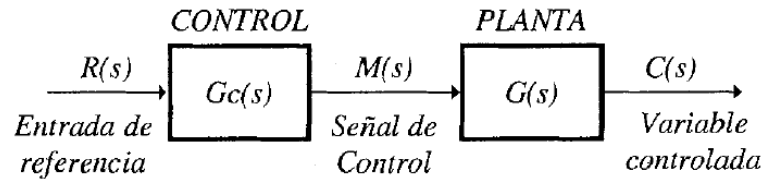


Fig. II.30. Esquema básico de un sistema de control

Fuente: Castro, S. Teoría de Control, Diseño electrónico., 2001.

En cualquier sistema de control en alzo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada.

En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas y externas. Esto es, en general, difícil de cumplir en la práctica, y su realización implica sistemas excesivamente caros. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Observe que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo es en lazo abierto (8).

Topología en lazo abierto.

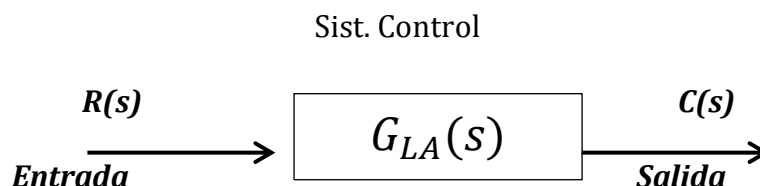


Fig. II.31. Esquema sistema lazo abierto.

Fuente: Castro, S. Teoría de Control, Diseño electrónico., 2001.

$$G_{LA}(s) = \frac{C(s)}{R(s)} \text{ (*relacion entrada/salida*)}$$

Recordemos que un sistema de control, generalmente estará formado por diversos sistemas (planta, control, etc.). La topología típica en sistemas en lazo abierto es como indica la figura II.31 (8):

Obteniéndose:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{M(s)}{R(s)} \cdot \frac{C(s)}{M(s)} = G_c(s) \cdot G(s) \text{ como funcion de transferencia del sistema}$$

2.1.6.4 Sistemas de control realimentados.

Un sistema que mantiene una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado.

Los sistemas de control realimentado no se limitan a la ingeniería, sino que también se encuentran en diversos campos ajenos a ella.

Sistemas de control en lazo cerrado.

En la práctica, los términos de control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

El termino control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (13).

La principal ventaja de los sistemas de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación hace al conjunto menos sensible a las perturbaciones externas y a las variaciones de los parámetros internos que los sistemas en lazo abierto.

2.1.6.5 Clasificación de sistemas.

Los sistemas pueden clasificarse en sistemas lineales y no lineales; otra clasificación los divide en sistemas variantes o invariantes en el tiempo.

Función de transferencia.

En general, cualquier sistema lineal invariante en el tiempo (**SLIT**) puede modelarse mediante una ecuación diferencial de la forma:

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + a_2 y^{n-2} + \dots + a_n y = b_0 x^m + b_1 x^{m-1} + b_2 x^{m-2} + \dots + b_m x$$

$$\text{donde: } y^n = \frac{d^n y}{dt^n}; \quad n \geq m$$

Esta ecuación diferencial relaciona la señal de salida de un sistema con la señal de entrada al mismo, y permite la respuesta de dicho sistema a una señal de entrada determinada, mediante su resolución.

La función de transferencia de un sistema lineal invariante en el tiempo se obtiene realizando la transformada de Laplace de la ecuación característica del sistema, con condiciones iniciales nulas.

Ecuación característica:

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + a_2 y^{n-2} + \dots + a_n y = b_0 x^m + b_1 x^{m-1} + b_2 x^{m-2} + \dots + b_m x$$

$$TL/_{CI=0};$$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = G(s) = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n} \quad n \geq m$$

Donde n= orden del sistema

Modelo del sistema:



Función de transferencia: $G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$ con $CI = 0$

La función de transferencia contiene toda la información de la dinámica del sistema.

En concreto, la característica dinámica del sistema depende fundamentalmente de las raíces del denominador de la función de transferencia. Al polinomio obtenido en el denominador de una función se le denomina *polinomio característico*.

Para que un sistema sea físicamente realizable, el orden del denominador debe ser mayor o igual (de hecho en la práctica siempre es mayor) que el orden del numerador, de este modo se garantiza que el sistema es causal (8).

2.1.6.6 Diseño de sistemas de control en tiempo continuo y discreto.

Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (el valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reducirá la desviación a cero o una pequeña. La manera en la

cual el controlador automático produce la señal de control se denomina acción de control.

Cualquier sistema físico se volverá inestable si alguno de los polos en lazo cerrado se encuentra en el semiplano derecho del plano s . Para verificar la existencia e inexistencia de tales polos en el semiplano derecho del plano, es útil el criterio de estabilidad de Routh (5).

2.1.6.7 Acciones básicas de control.

El control es elemento encargado de “procesar” la señal de error y “generar” una señal encargada de disminuir el valor de dicha señal de error con el objetivo de lograr la máxima precisión posible del sistema de control. El procedimiento mediante el cual el controlador genera la señal de control se denomina acción de control.

El tipo de controlador que se use debe decidirse con base en la naturaleza de la planta y las condiciones operacionales, incluyendo consideraciones tales como seguridad, costo, confiabilidad, precisión, peso y tamaño.

2.1.6.8 Tipos de controladores.

Los controladores típicos en sistemas de control en tiempo continuo son:

1. Proporcionales
2. Integrales
3. Derivativos.
4. Proporcionales-integrales

5. Proporcionales-derivativos
6. Proporcionales-integrales-derivativos

En los sistemas industriales se emplea uno o una combinación de estos sistemas de control.

Control proporcional.

Para un controlador con acción de control proporcional, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = k_p e(t)$$

O bien, en cantidades transformadas de Laplace, con lo cual, la función de transferencia del control proporcional es:

$$G_c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = k_p$$

En donde k_p se considera la ganancia proporcional.

Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con ganancia ajustable.

En la figura II.32 se presenta un diagrama de bloques de tal controlador.

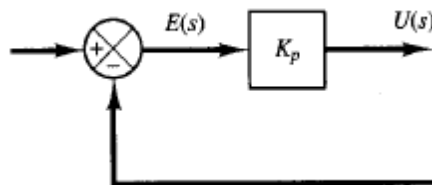


Fig.II.32. Diagrama de bloque de un control proporcional.

Fuente: www.librospdf.net/libro/sistemas-de-control-automatico/2715/

Donde, $e(t)$; señal de error, $u(t)$; señal de control y k ; sensibilidad proporcional o ganancia proporcional.

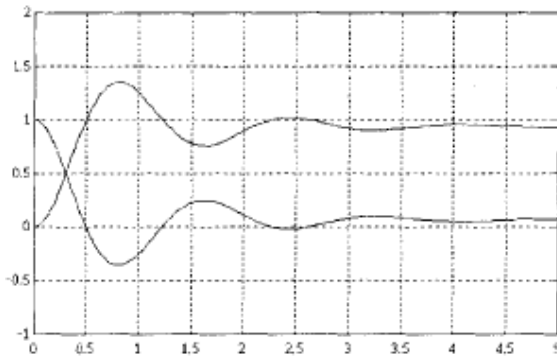


Fig.II.33a) Control proporcional con k=15

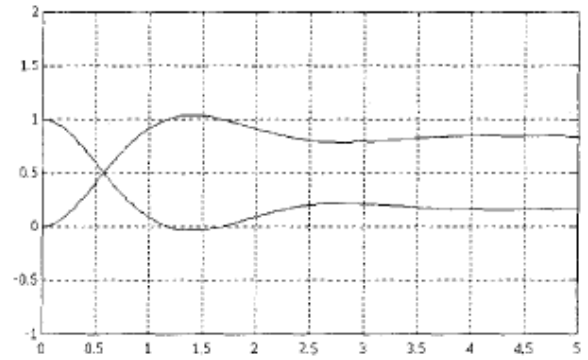


Fig.II.33b) Control proporcional con k=5.

Fuente: http://205.196.120.156/5zcu7nxac9eg/hctgezobmxw/Control+Automatico+II_129p.pdf

En las figuras II.33a y II.33b se puede observar las respuestas típicas (señal de error y señal de salida) de un control proporcional con dos valores diferentes de ganancia proporcional.

Cuanto mayor es la ganancia de control proporcional, mayor es la señal de control generada para un mismo valor de señal de error (6).

Control integral.

En un controlador con acción de control integral, el valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de error $e(t)$, es decir, genera una señal de control proporcional a la integral de la señal de error:

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

En donde K_i es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (CI = 0)$$

Si se duplica el valor de $e(t)$ el valor de $u(t)$ varía dos veces más rápido. Para un error de cero, el valor de $u(t)$ permanece estacionario. En ocasiones, la acción de control integral se denomina control de reajuste (reset). La figura II.34 muestra un diagrama de bloques de tal controlador.

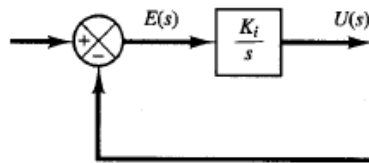


Fig.II.34 Diagrama de bloques de un controlador integral.

Fuente: http://205.196.120.156/5zcu7nxac9eg/hctgezobmxw/Control+Automatico+II_129p.pdf

La característica más importante de este tipo de control es que la acción correctora se efectúa mediante la integral del error, ello permite decir que el control integral proporciona una señal de control que es función de la propia 'historia' de la señal de error.

La figura II.35 muestra una gráfica típica de la señal de control y de error integral.

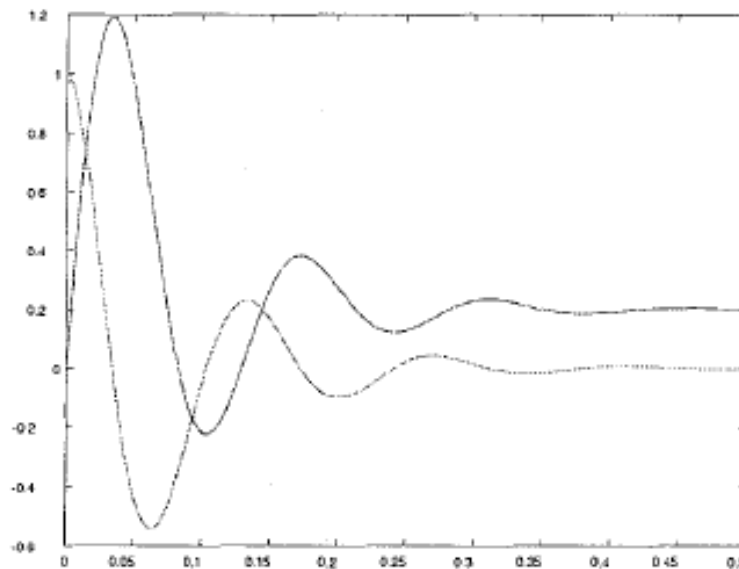


Fig.II.35 Control integral. Señal de error y señal de control

Fuente: http://205.196.120.156/5zcu7nxac9eg/hctgezobmxw/Control+Automatico+II_129p.pdf

Si se calcula el error en régimen estacionario ante una entrada al escalón, $R(s)=1/s$.

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s)}; \quad K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G_c(s) \cdot G(s) \cdot H(s)$$

Si $G_c(s)$ tiene un elemento integrador (polo en $s=0$) entonces $K_p \rightarrow \infty$ y $e_{ss} \rightarrow 0$.

Control Derivativo.

La acción de control derivativa genera una señal de control proporcional a la derivada de la señal de error:

$$u(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}; \quad U(s) = K_d s E(s)$$

De este modo, el control derivativo mediante la derivada de la señal de error 'conoce' sus características dinámicas (crecimiento o decrecimiento), produciendo una corrección antes de que la señal de error sea excesiva. A este efecto se le denomina *acción anticipativa*. Resumiendo, la acción de control derivativa añade sensibilidad al sistema y tiene un efecto de aumento de estabilidad relativa.

Sin embargo, el control derivativo no puede utilizarse en solitario porque es incapaz de responder a una señal de error constante.

$$e(t) = cte, \quad u(t) = 0$$

En conclusión, con un control derivativo un sistema no alcanzaría nunca el estado estacionario. El control derivativo siempre debe utilizarse en combinación con otros controles por su influencia estabilizadora mediante la acción anticipativa (13).

Control Proporcional-integral.

La acción de control de un controlador Proporcional-Integral (PI) genera una señal resultante de la combinación de la acción proporcional y la acción integral conjuntamente.

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

La figura II.36 muestra un diagrama de bloques de un controlador proporcional más integral. Si la señal de error $e(t)$ es una función escalón unitario, como se aprecia en la figura II.37, la salida del controlador $u(t)$ se convierte en lo que se muestra en la figura II.37.

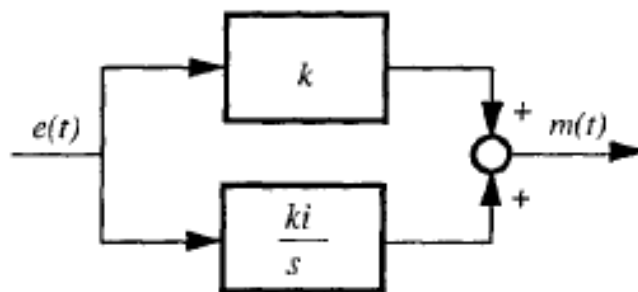


Fig. II.35 Diagrama de bloques de la acción de control PI.

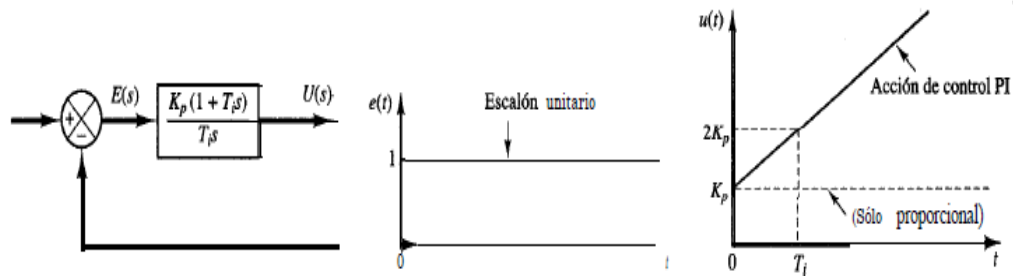


Fig. II.37. Formas de salida del control PI

Fuente: <http://ff10d06.filefactory.com/dl/f/3smygsup56yz//b/1/h/4afa9a4d6>

bc3227e403227dd/m/78c90eb97bfdb6e32360f79ff13ea8b8/n/teoriacontrol.rar

Control Proporcional-Derivativo.

La acción de control de un controlador proporcional-derivativa (PD) genera una señal que es resultado de la combinación de la acción proporcional y la acción derivativa conjuntamente, se define mediante.

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

en donde K_p es la ganancia proporcional y T_d es una constante denominada *tiempo derivativo*. Tanto K_p como T_d son ajustables.

Control Proporcional-Integral-Derivativo.

La acción de control proporcional integral derivativa (**PID**) genera una señal resultado de la combinación de la acción proporcional, la acción integral y la derivativa conjuntamente. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y la función de transferencia:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

en donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

El diseño de un control **PID** se realiza diseñando primero el control proporcional derivativo para cumplir las condiciones de respuesta transitoria y, posteriormente, se añade el control proporcional integral obtenido tal como se ha visto anteriormente, de manera que su incorporación al sistema no afecte a la respuesta transitoria del sistema, pero si elimine el error estacionario Creus (12), Ogata (13), Bolton (6).

2.1.7 DESARROLLO DE APLICACIONES EN LABVIEW.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Labview permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactivo basado en software. Usted puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. Labview es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con

hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

2.1.7.1 Aplicaciones de LabVIEW

Labview tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, Laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial. Labview es muy utilizado en procesamiento digital de señales (wavelets, FFT, Total Distorsion Harmonic TDH), procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

2.1.7.2 Programación gráfica con Labview.

Cuando usted diseña programas con Labview está trabajando siempre bajo algo denominado VI, es decir, un instrumento virtual, se pueden crear VI a partir de especificaciones funcionales que usted diseñe. Este VI puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una sub función dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por: ser un cuadrado con su respectivo símbolo relacionado con su funcionalidad, tener una interfaz con el usuario, tener entradas con su color de identificación de dato, tener una o varias salidas y por su puesto ser reutilizables (19).

2.1.7.3 Laboratorios basados en la Web

Un laboratorio virtual y remoto es un espacio educativo que integra elementos físicos utilizados en la práctica de un concepto, ligados a una asignatura específica, como elementos tecnológicos de hardware y software propios de las tecnologías orientadas hacia la web ver figura II.38 La internet constituye el armazón tecnológico de estas herramientas educativas, que se complementa con elementos de hardware propios de la teoría de redes y de transmisión de datos junto con una implementación física de una práctica o experimento, que a su vez se comunica con un computador que hace las veces de servidor. Los elementos de software ligados a la práctica como tal pueden ser propios del área del conocimiento o no, es decir, puede haber software propietario, software educativo especial o tratarse de aplicaciones desarrolladas sobre lenguajes y plataformas abiertas.

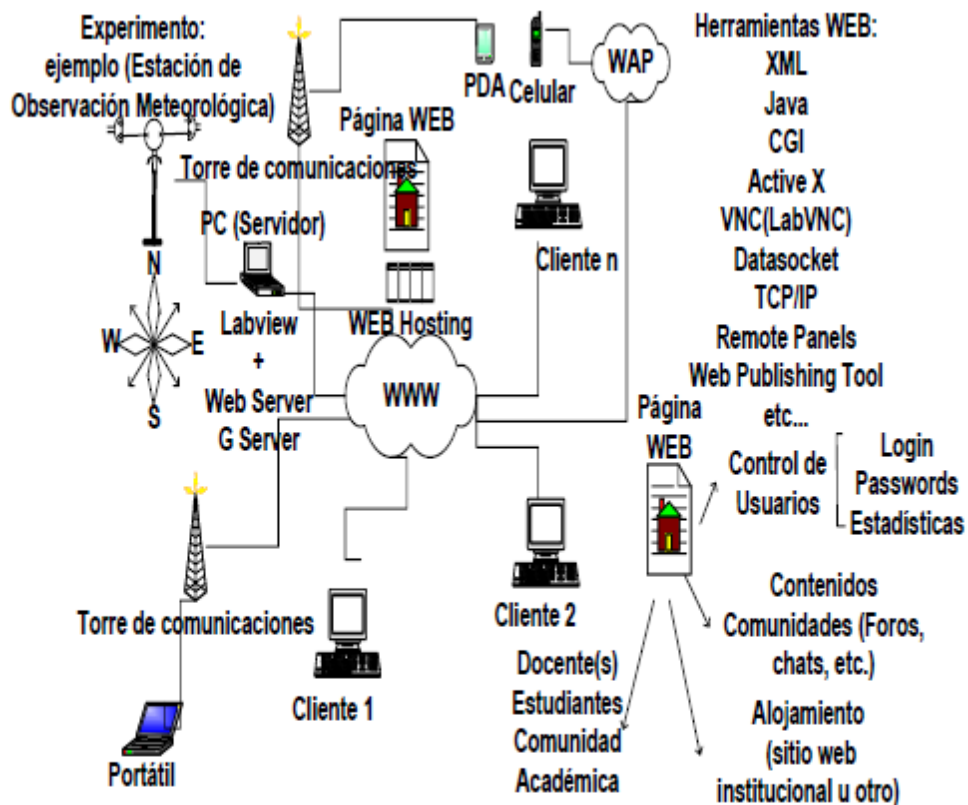


Fig. II.38. Estructura distribuida de comunicación internet

Fuente: Virtual laboratory for the teaching of electronic instrumentation

2.1.7.4 Consideraciones operativas

Los contenidos de las prácticas y de las asignaturas o recursos relacionados se pueden alojar o no en un sitio web institucional. Usualmente el experimento o práctica debe comunicarse con la página web y se encuentra empotrado en ésta mediante controles, botones, pantallas de video, gráficos, etc. Según sea la implementación desarrollada el usuario podrá tener, entre otras, oportunidades de ingreso a un control de acceso, posibilidad de obtener información relacionada con la asignatura, utilidades para intercambiar opiniones con compañeros y tutores, tener comunicación con el docente y operar a distancia los elementos ubicados

remotamente. El docente, a su vez, tiene la oportunidad de realizar seguimiento sobre el desempeño de los estudiantes, obtener estadísticas de los usuarios, realizar labores de asesoría y acompañamiento y verificar la intensidad horaria de las actividades independientes y extra clase que siguen los estudiantes (19).

2.1.7.5 Web hosting y manejo de usuarios

Para implementar un laboratorio virtual basado en la web es necesario tener una página alojada en un servidor, que puede ser el mismo que aloja la página institucional o una página creada bajo un URL –Uniform Resource Locator– diferente al institucional. El hecho de tener una página permite crear vínculos a otros contenidos relacionados con las asignaturas y con las prácticas, además, se puede tener un área de descarga en la que los estudiantes registrados en el curso puedan bajar los archivos de las diferentes experiencias y actividades. Por su parte Labview maneja la figura de un web server que provee una serie de herramientas de configuración que tienen que ver con aspectos como una lista de usuarios IP autorizados y con el tipo de acciones que pueden realizar sobre los instrumentos virtuales, es decir, si estos solo pueden realizar labores de monitoreo, de control o ambas. Herramientas como Web Publishing ofrecen la posibilidad de empotrar los paneles frontales en los web browser y transferir o no el control a los usuarios de la página.

A partir de herramientas especializadas como LabVNC, apoyadas en el concepto de “Virtual Network Computing” o como Internet Toolkit, se pueden tener opciones más elaboradas para la gestión de usuarios y de instrumentos virtuales. También

está la opción de control de acceso de usuarios que permite el servidor web, con un archivo de lista de accesos. Otra figura que permite transferir opciones de control y visualización vía web, sin la necesidad de una página, es la de los paneles remotos. Es importante recordar que Labview también ofrece posibilidades de trabajo con programación TCP-IP o UDP y manejo de “sockets” de comunicación –Datsocket– lo mismo que las funciones CGI –Common Gateway Interface– de la librería Internet, que se habilita al instalar el Internet Toolkit y que permite la autenticación de usuarios asignándoles login y password.

2.1.7.6 Recursos servidor-cliente

Muchas de las herramientas web de Labview básicamente siguen el esquema de cliente servidor.

Con Datsocket, por ejemplo, se habla de Publisher y Subscriber, con Remote Panels de Controller y Controlled, con otras aplicaciones, como LabVNC, se habla claramente de clients, con winVNC de viewers, también se habla de users, en fin, el resultado es básicamente el mismo: proveedor de información y usuario de información. En este caso específico, datos e información de medición y control, pero también tareas de control de accesos, conexión a bases de datos y funciones tradicionales marcadas por el esquema de uno u otro lado. Es importante anotar que esta asignación de roles no es rígida o definitiva, principalmente en el caso de que las estaciones involucradas en la comunicación posean Labview. Existe, para ciertas situaciones, la facilidad de acceder a utilidades servidor-cliente

sin tener Labview instalado en los receptores, a partir de la instalación de complementos como plugins o elementos de software como run-time engine (19)

Web: LabVIEW Remote Panel

- Herramienta de LabVIEW 6.1 que brinda la posibilidad de acceder a la Instrumentación Virtual desarrollado en una computadora (servidor) a través de un navegador Web.
- Utiliza el Web Server incluido en el paquete de instalación de LabVIEW 6.1
- La página Web muestra exactamente el mismo Panel Frontal del VI que se ejecuta en el PC servidor.
- Desde la página Web se pueden operar todos los controles tal y como si se estuviera en el ambiente de LabVIEW.

Características:

- Se necesitan licencias de la National Instruments para que esta herramienta pueda ser utilizada por más de una usuario.

El PC cliente a través de una página web puede controlar el instrumento virtual que se ejecuta en el PC Server

Ventajas:

- No requiere de programación adicional para lograr embeber el VI en una página Web.
- La página Web puede ser modificada con información adicional

Inconvenientes:

- Se requiere de licencias para la conexión de más de un usuario.

Internet: DataSocket

- Tecnología desarrollada por National Instruments, empleada para la transmisión de datos y monitoreo de procesos que se ejecutan de manera autónoma.
- Utiliza DataSocket Server para manejar las conexiones con los clientes a través de los protocolos TCP/IP.
- Utiliza el estándar URL para la conexión a los datos.
- La comunicación es en tiempo real.
- Utiliza DataSocket Server Manager para configurar la seguridad de las aplicaciones.

Fuente: Aplicación de la Instrumentación Virtual Remota en la Educación a Distancia.

CAPÍTULO III

3.1 DESCRIPCIÓN Y ADECUACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.

El brazo robótico que será utilizado para implementar el SCMI-LW tiene una configuración antropomórfica figura III.1 que le permite desplazarse en los tres ejes, posee un efector final que sirve como instrumento de agarre (pinza). Este tipo de configuración le permite gozar de 5GDL para poder ubicarse fácilmente en cualquier punto de coordenadas que se encuentren dentro del rango de acción del brazo, las articulaciones son del tipo rotacional. Además cuenta con cinco motores de cd a 9Vdc acoplados con sistemas reductores en las articulaciones de esta forma se transforma, la velocidad por el torque necesario para mover cada articulación.

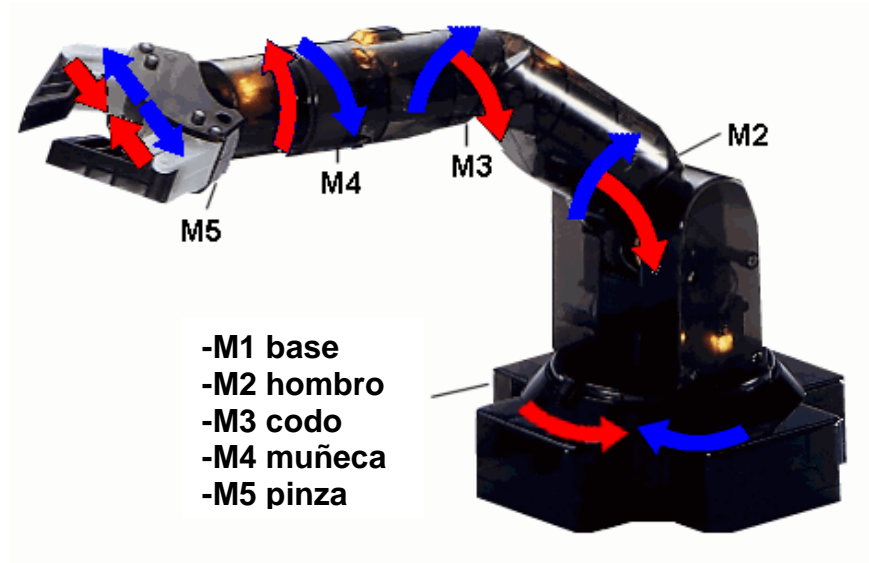


Fig.III.1 Brazo antropomórfico de 5GDL.

Fuente: Unidad didáctica control y robótica Antonio Bueno.

Cada motor cuenta con una línea de alimentación y una de referencia no teniendo así una línea de control como en el caso de los servomotores.

El brazo posee una base fija la cual sirve como soporte de todo el conjunto y es capaz de moverse sobre su base un ángulo de 360°, el hombro ubicado a 10 cm de la base le permite moverse de forma ascendente y descendente con un ángulo de giro de 90° , el codo ubicado a 12 cm del hombro tiene una libertad de rotación de 135° y es el soporte de la muñeca la cual está ubicada a 10cm del codo y está en la capacidad de girar 360° , y por último la pinza o efector final ubicada a 7cm de la muñeca puede abrirse 180° y cerrarse completamente con una presión igual 2Nxcm².

3.1.1 SISTEMA CAJA REDUCTORA.

El sistema encargado de proporcionar el torque necesario para poder mover cada articulación del brazo se denomina tren de engranes, una configuración de

engranes que son mecanismos utilizados para transferir y transformar el movimiento rotacional y se emplean para obtener un cambio en la velocidad, o el par de rotación de un dispositivo que gira. El movimiento rotacional se transfiere de un eje a otro mediante un par de cilindros giratorios (figura III.2), dotados de dientes denominados engranes que evitan el deslizamiento entre los cilindros. Cuando dos engranes están conectados, al mayor se le denomina engrane, y al menor piñón. Los engranes que se usan para conectar ejes paralelos tienen dientes rectos, es decir, los ejes se cortan en líneas axiales paralelas al eje (6).

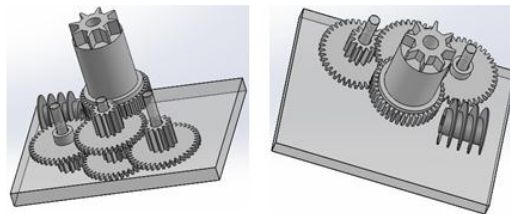


Fig. III.2. Caja de reducción

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

Cada articulación posee una caja reductora similar, constituida por un motor dc y un tren de engranes (figura III.3) diferenciándose solamente en el engrane que transfiere el movimiento a cada articulación (engrane de salida).

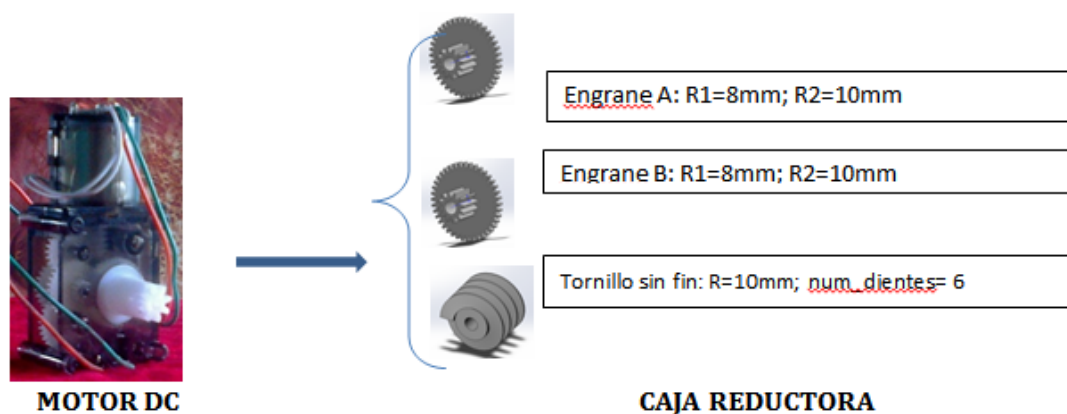


Fig. III.3. Motor Dc con sistema de tren de engranajes

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

Un tornillo sin fin transfiere la velocidad del motor dc a un engrane compuesto A (engrane conductor) el cual comunica a un engrane compuesto B y a otro hasta el engrane de salida figura 2.2 formando así un tren de engranajes de ejes fijos paralelos .

De esta configuración podemos calcular la relación de transmisión que en un mecanismo de transmisión, es el cociente entre la velocidad angular ω_2 del eje conducido o de salida y la velocidad angular ω_1 del eje conductor o de entrada (7), así se tiene entonces la siguiente relación figura III.4.

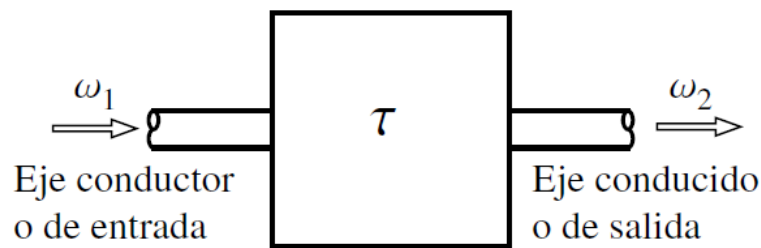


Fig. III.4. Relación de transmisión de un sistema de reducción.

Fuente: Cardona, S., Teoría de Maquinas., 2001

$$\tau = \omega_1 / \omega_2$$

Además podemos determinar el torque, elementos necesarios para realizar el control tanto de la velocidad como de la posición.

3.1.1.1 Tren de engranajes

Está constituida por un engrane A, cuatro engranes B y un tornillo sin fin y un engranaje de salida como indica la figura III.5.

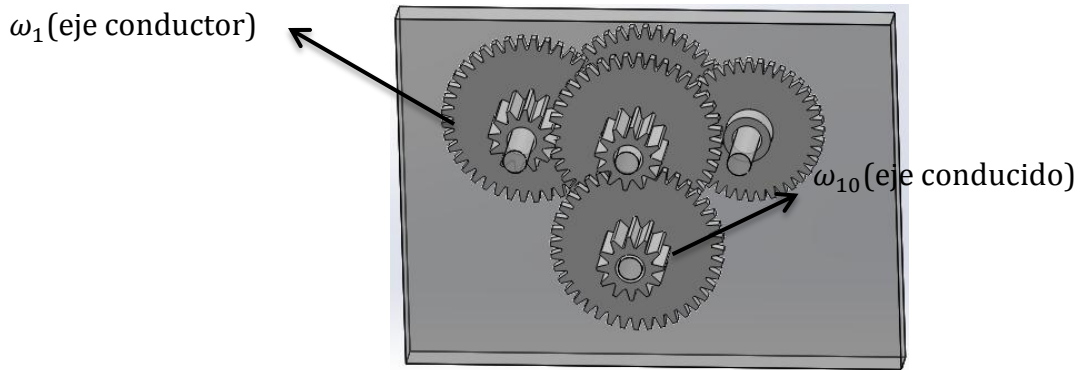


Fig. III.5. Descripción de ejes relacionados.

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

Calculo relación de transmisión.

Para calcular la relación de transmisión podemos proceder mediante la relación de

las velocidades angulares: $\tau = \omega_1 / \omega_{10}$ (2.1)

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \frac{\omega_2}{\omega_3} \times \frac{\omega_3}{\omega_4} \times \frac{\omega_4}{\omega_5} \times \frac{\omega_5}{\omega_6} \times \frac{\omega_6}{\omega_7} \times \frac{\omega_7}{\omega_8} \times \frac{\omega_8}{\omega_9} \times \frac{\omega_9}{\omega_{10}} \quad (2.2)$$

Como en un engranaje compuesto la velocidad angular es la misma, es decir

$\omega_2 = \omega_3, \omega_4 = \omega_5, \omega_6 = \omega_7, \omega_8 = \omega_9$, la ecuación 2.2 se reduce:

$$\tau = \frac{\omega_1}{\omega_2} \times \frac{\omega_3}{\omega_4} \times \frac{\omega_5}{\omega_6} \times \frac{\omega_7}{\omega_8} \times \frac{\omega_9}{\omega_{10}} \quad (2.3)$$

La relación de transmisión $\tau = \omega_1 / \omega_{10}$ se puede definir en términos del número de dientes de cada engrane dado que la velocidad angular de un engrane es inversamente proporcional a su cantidad de dientes:

$$\tau = \frac{Z_2}{Z_1} \times \frac{Z_4}{Z_3} \times \frac{Z_6}{Z_5} \times \frac{Z_8}{Z_7} \times \frac{Z_{10}}{Z_9} \quad (2.4)$$

De donde Z, corresponde al número de dientes de cada engrane, para este caso el número de dientes es el mismo para los engranes 1,3, 5, 7, 9 correspondientes a las conductoras y tienen el mismo número de dientes las conducidas 2, 4, 6, 8, 10.

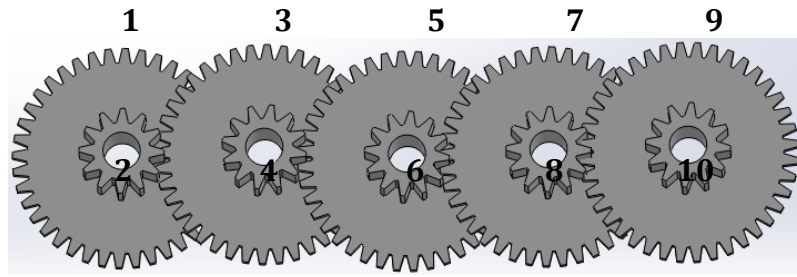


Fig. III.6. Conductoras y conducidas para el cálculo de la relación de transmisión.

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

Por lo tanto la relación será:

$$\tau = \left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)^5$$

$$Z_1=10$$

$$Z_2=30$$

$$\tau = \left(\frac{30}{10}\right)^5 = 243$$

Por lo tanto la relación de transmisión será: $\frac{1}{243}$

Según la relación de transmisión la velocidad angular de salida se define como:

$$\omega_1 \cdot \tau \omega_2 = 0;$$

Por lo que la velocidad de salida $\omega_{10} = \omega_1 / 243$ siendo $\omega_1 = 930,69 \text{ rpm}$

$$\omega_{10} = 3,83 \text{ rpm}.$$

con respecto al torque como es una caja de reducción al reducir la velocidad ganamos en torque en una relación de 243 con la potencia del motor dc igual a 6,5W y el torque de entrada es igual a 0,046N.m

$$\tau_{salida} = 243 \times \tau_{motor}$$

$$\tau_{salida} = 243 \times 0,067 \text{ N.m} = 16,21 \text{ N.m} = 1,65 \text{ Kg.m}.$$

3.1.2 SELECCIÓN DE SENSORES PARA EL BRAZO ROBÓTICO

Para realizar el control efectivo de cada articulación, es necesario acoplar sensores que permitan conocer las distintas acciones de cada elemento que conforman el brazo, tales como el abrir y cerrar de la pinza, los grados de giro de determinada articulación, así como también la velocidad.

Según se requiera se podrá acoplar uno de estos sensores en cada elemento, teniendo en cuenta que habrá elementos en los cuales no será posible ubicar un determinado sensor debido a la constitución del brazo o a las características del sensor. Los sensores de los cuales aremos uso son para medir ángulos, determinar velocidades angulares, sensores de contacto o fines de carrera.

Las señales con las cuales trabajaremos deberán ser acondicionadas para ser leídas mediante la tarjeta de adquisición de datos para su posterior manejo en Labview.

3.1.2.1 Sensor de posición y velocidad (encoder).

Los encoders están disponibles con diferentes tipos de salidas, uno de ellos son los ENCODER INCREMENTABLES, que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición. El sensor óptico provee altas resoluciones, velocidades de operaciones altas, y con seguridad, operación de larga vida en la mayoría de los ambientes industriales.

Los encoders de incremento proveen un número específico de pulsos equitativamente espaciados por revolución (PPR) o por pulgada o milímetro de movimiento lineal. Se utiliza un solo canal de salida para aplicaciones donde el

sentido de la dirección de movimiento no es importante (unidireccional). Donde se requiere el sentido de dirección, se utiliza la salida de cuadratura (bidireccional), con dos canales de 90 grados eléctricos fuera de la fase; el circuito determina la dirección de movimiento basado en la fase de relación entre ellos.

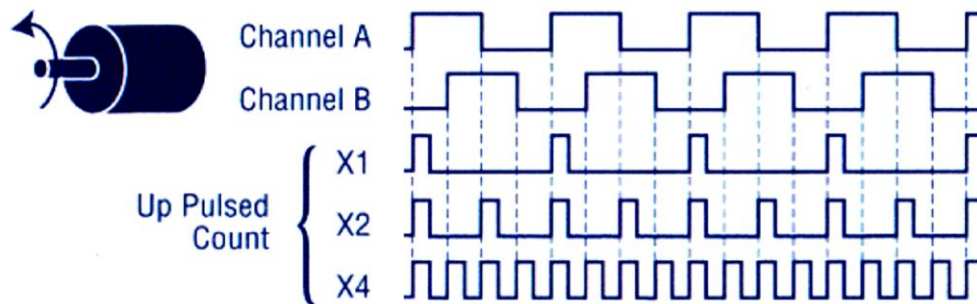


Fig. III.7. Salida de un encoder de cuadratura.

Fuente: <http://sine.ni.com/np/app/main/p/bot/no/ap/daq/lang/es>

[/pg/1/sn/n17:daq,n21:35/q/encoder/sb/default/](#)

En este caso no se utilizara la salida en cuadratura y el control de sentido de giro será realizado mediante instrucciones en Labview.

Construcción del sensor.- Para poder realizar la medición del ángulo se necesita realizar un sistema que pueda permitir de forma sencilla poder leer ángulos enteros y en intervalos de una unidad.

Para ello se ha construido sensores que puedan ser ubicados tanto en el hombro y en el codo y que la salida de estos sean pulsos de salida TTL, los cuales cada pulso corresponderá a la medida de una unidad de ángulo es decir un grado.

Constan de un sistema de engranajes que tiene una relación de transmisión de 24:1.

$$\tau = w_2 / w_1.$$

Donde $w_1=3.83\text{rpm}$, $w_2=91.92\text{rpm}$; $T=24$;

Cada vuelta del engrane correspondiente a w_1 recorre 23 grados por segundo y en w_2 se tiene 1,53 rev/seg con lo que en una regla de tres simple será.

$\text{num_grados} = 23/1,53 = 15,032$ grados por revolución en w_2 .

$\text{num_grados} = 15^\circ$, así se codifica el disco con 15 segmentos negros y blancos

Utilizando un sensor infrarrojo Sharp GP1S53VJ000F del cual la característica más importante es que es un sensor que posee un emisor y un receptor infrarrojo dispuestos en un encapsulado ranurado y enfrentados entre sí y con un lente de 1mm como se indica en la figura III.8.

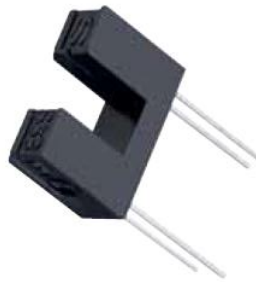


Fig. III.8 sensor GP1S53VJ000F

Fuente: http://tienda.tdrobotica.co/index.php?main_page=index&cPath=31_64

Con estos datos se realizara el disco codificado el cual cuenta con 15 secciones negras de 3mm de ancho cada una, para una mejor lectura del emisor infrarrojo como muestra la figura III.9.



Fig. III.9. Disco ranurado para generación de pulsos.

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

El disco interrumpirá el haz de luz generando así una señal periódica entre 0 y 5Vdc o 1 y 0 lógico figura III.10.

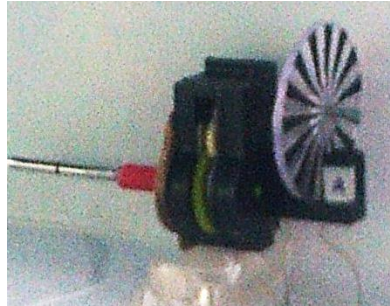


Fig. III.10. Adaptación del sensor óptico junto al disco codificado y a la caja de reducción

Fuente: Edison Coque, acoplamiento caja de reducción sensor.

Circuito del encoder.

Debido a las características del sensor infrarrojo figura III.11, se utiliza schmit triggers para normalizar la onda de salida que entrega este sensor.

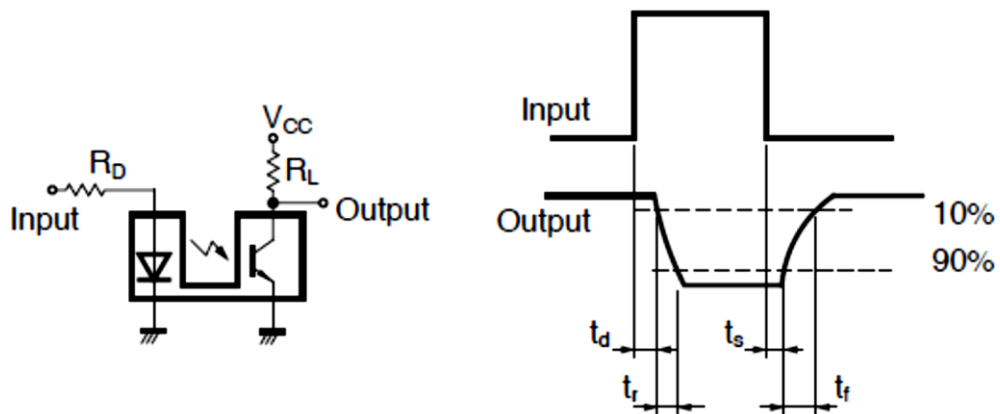


Fig. III.11 Sensor infrarrojo y diagrama de operación.

Fuente: <http://datasheet.octopart.com/GP1S53VJ000F-Sharp-Microelectronics-datasheet-147836.pdf>

Ya que de esta manera se hará que el sensor entregue una señal TTL la cual será enviada y leída por medio de una DAQ y sea también más fácil de manejar con el

contador de pulsos. Así el circuito implementado es el que se muestra en la figura III.12, el cual cuenta con un CI CD40106 un inversor schmit trigger que reestablece la onda cuadrada proveniente de la lectura del sensor infrarrojo.

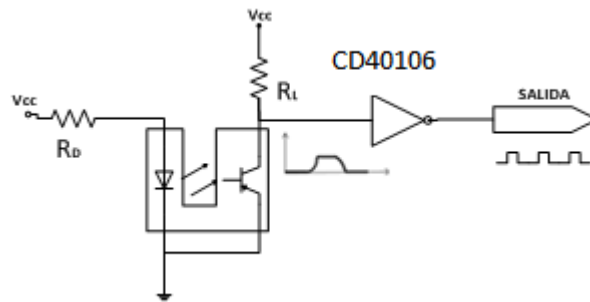


Fig. III.12 Encoder conectado a un Schmitt trigger para normalizar señal de salida.

Fuente: Edison Coque, esquema realizado en Visio 2011.

3.1.2.2 Sensores de contacto.



Fig. III.13. Diferentes tipos de interruptores de contacto disponibles en el mercado

Fuente: <http://www.superrobotica.com/sensores.htm>

Estos sensores son los que se encuentran ubicados en la pinza, los cuales permiten controlar la acción de apertura y cierre del efector final.

Estos sensores son micro switches que dan estados de encendido y apagado.

Microswitch:

Un tipo de switch muy útil en robótica es el microswitch como el que se puede apreciar en la siguiente figura III.14:

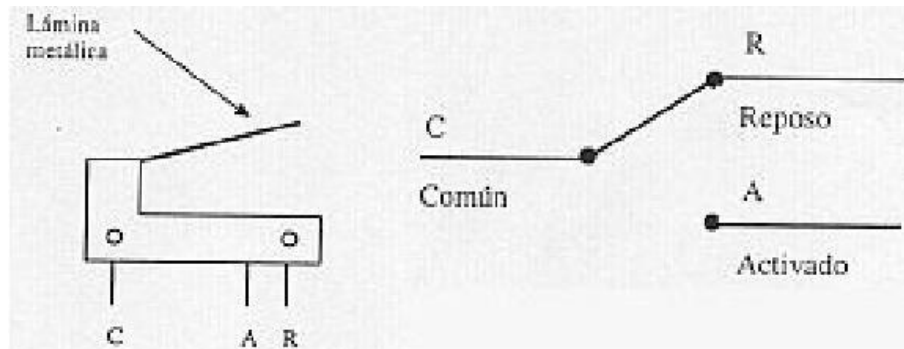


Figura III.14 Esquema funcionamiento Microswitch.

Fuente: <http://www.superrobotica.com/sensores.htm>

Al presionar la lámina, el borne común C pasa a conectarse con el borne activado A. Si la lámina no está presionada, el borne C está unido con R (reposo). En la práctica el borne R viene identificado como NC (normal closed) y el borne A viene identificado como NO (normal open).

Este tipo de sensor se lo utiliza para la detección de obstáculos.

3.1.3 MONTAJE DE LOS SENSORES AL BRAZO ROBÓTICO.

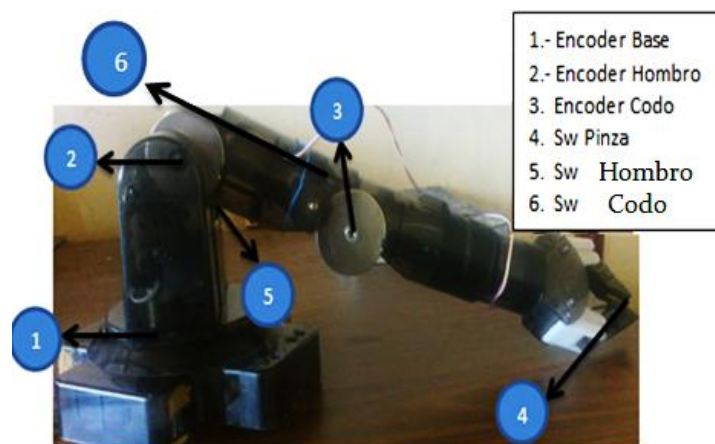


Fig.III.15. Descripción de la zonas en donde serán ubicados los sensores.

Fuente: Edison Coque, brazo robótico de la EIE-CRI.

Acoplamiento de Sensores en las base.

En primer lugar se realizara la adaptación del sensor de posición angular a la base del brazo. Para esto se hará uso del sensor GP1S53VJ000F(ECG 3100) figura III.8, que será ubicado como muestra la figura III.15. En la base solo se ubicara el sensor para medir la posición, ya que debido a que mantiene una velocidad relativamente uniforme el cambio de un pulso a otro no sufren cambios repentinos de velocidad. Para poder generar una señal que el sensor pueda leer es necesario adaptar a la base un disco codificado de 180 ranuras como indica la figura III.16 y así se generen los pulsos al momento de entrar en movimiento la base. Como es obvio cada pulso generado corresponderá a 2 grados.



Fig.III.16 Acoplamiento de disco ranurado para el conteo de pulsos con el ECG 3100.

Fuente: Edison Coque, brazo robótico de la EIE-CRI.

Acoplamiento de Sensores en el hombro y codo

Para el hombro se necesita adecuar un sensor que pueda medir velocidad y posición ya que esta parte del brazo varia su velocidad al momento de subir o bajar debido al peso de los elementos que tiene incorporado más adelante.

Las características del hombro no permiten que un sensor de este tipo pueda ser acoplado internamente, por lo cual se ha de acondicionar un sistema que permita el montaje del sensor en la parte exterior.

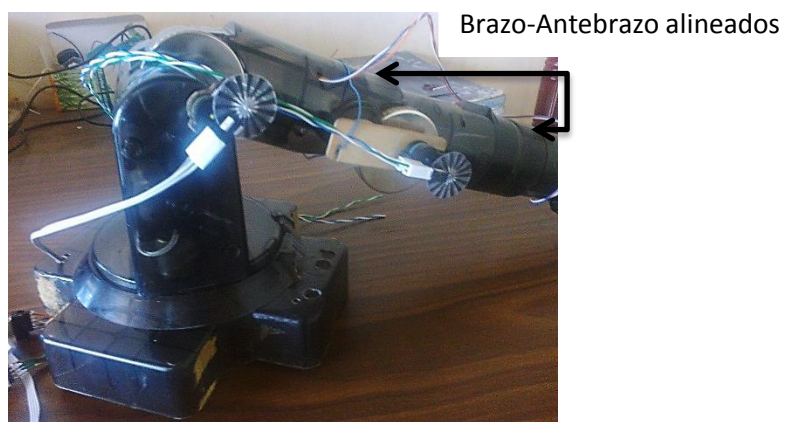


Fig.III.17. Ubicación de los encoder al hombro y el codo.

Fuente: Edison Coque, brazo robótico de la EIE-CRI.

Como puede verse en la figura III.17 el lugar en donde será ubicado el sensor en el hombro es en el tornillo que fija la rueda dentada con la articulación que hace posible el movimiento del hombro y que mueve al eslabón que se conecta al codo.

Para poder transmitir el movimiento del hombro al sensor se acopla una extensión al tornillo el cual se acopla a un sistema de engranajes el cual permite aumentar la velocidad del movimiento del hombro para poder así tener la forma de contar ángulos por cada grado que gira.

También se le ubicara un micro switch para controlar la posición inicial y su control de parada para evitar que el motor de esta articulación siga en marcha una

vez llegado a este punto, y así evitar daños. De manera similar se ubica el sensor que determinara los grados de giro del codo y cuenta además con un micro switch para determinar la posición de alineado del brazo con el antebrazo figura III.17.

Acoplamiento de Sensores en la pinza.

En lo que se refiere a la muñeca el control de posición se lo realiza mediante el tiempo de activación de esta articulación tomando en cuenta que su velocidad permanece constante, este control se lo realiza mediante una rutina que se desarrollara en labview. Tomando en cuenta la velocidad angular y el periodo de esta articulación.

En la pinza para determinar la acción de abrir se realizara un control por tiempo desde que se encuentra cerrado hasta un determinado tiempo que llegue a una abertura adecuada.

Para la acción de cerrado y saber el momento que ha terminado esta acción se ubicara un sensor de contacto figura III.18.

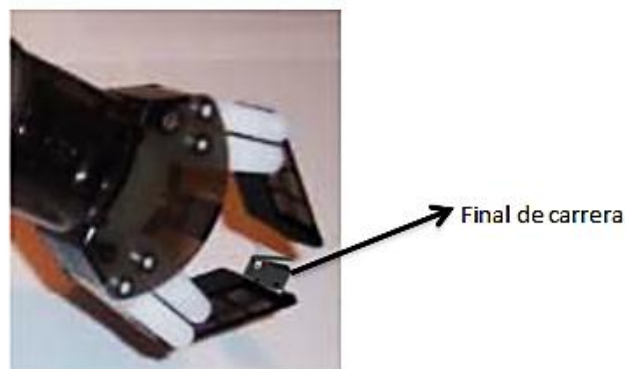


Fig. III.18. Ubicación de final de carrera en la pinza para determinar la condición de cerrado.

Fuente: Edison Coque, brazo robótico de la EIE-CRI.

3.1.4 POSICIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.

3.1.4.1 Resolución del Modelo Cinemático Directo.

Para determinar en X, Y, Z del extremo del robot es necesario resolver el problema cinemático directo.

En este caso para determinar la posición del brazo robótico se desarrollan las ecuaciones de localización mediante la resolución del problema cinemático directo, con el cual se determinara una matriz homogénea de transformación **T** que relacionara la posición y orientación del extremo del brazo.

Para poder determinar de forma sencilla las rotaciones y traslaciones relativas de cada eslabón, donde se establecen la relación de los ángulos y las longitudes se hará uso de la matriz de transformación homogénea y así ubicar la posición final o deseada del extremo del brazo en este caso el actuador final que viene siendo la pinza. En las matrices homogéneas se establecen o denotan las coordenadas de rotación y traslación de dos eslabones consecutivos del brazo robótico.

Como se trata de una configuración antropomórfica de entre los diferentes sistemas que existen para resolver estas matrices se elegirá el método del algoritmo Denavit-Hartenberg propuesto en 1955.

3.1.4.2 APLICACIÓN DEL ALGORITMO DENAVIT-HARTENBERG:

D-H 1.- Numerar los eslabones comenzando con 1(primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con n (último eslabón móvil). Se enumerara como eslabón 0 a la base fija del robot.

D-H 2.- Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en n.

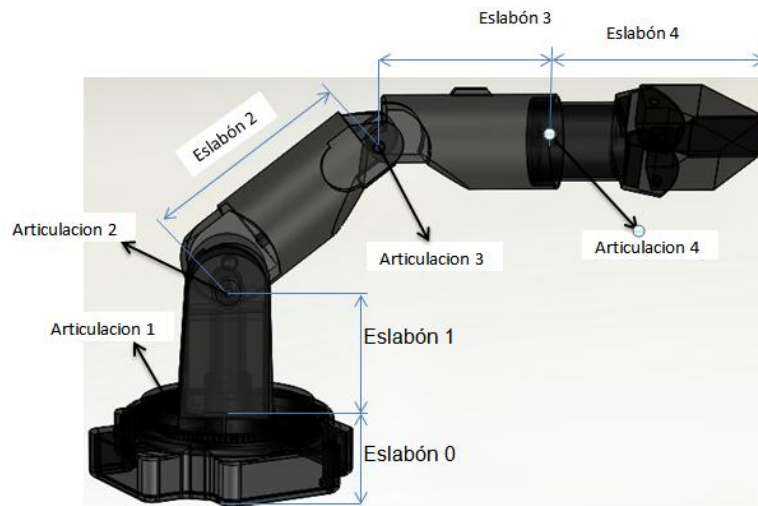


Fig. III.19. Definición de articulaciones y eslabones para la determinación del algoritmo D_H

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

D-H 3.- Localizar el eje de cada articulación. Si esta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.

D-H 4.- Para i de 0 a $n - 1$ situar el eje Z_i sobre el eje de articulación $i + 1$.

D-H 5.- Situar el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en cualquier punto del eje Z_0 . Los ejes X_0 e Y_0 se situaran de modo que formen un sistema dextrógiro con Z_0 .

D-H 6.- Para i de 1 a $n - 1$, situar el sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabon i) en la intersección del eje Z_i con la línea normal común a Z_{i-1} y Z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuesen paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación $i + 1$.

D-H 7.- Situar X_i en la línea normal con a Z_{i-1} y Z_i .

D-H 8.- Situar Y_i de modo que forme un sistema dextrogiro con X_i y Z_i .

D-H 9.- Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que Z_0 coincida con la dirección de Z_{n-1} y X_n sea normal a Z_{n-1} y Z_n

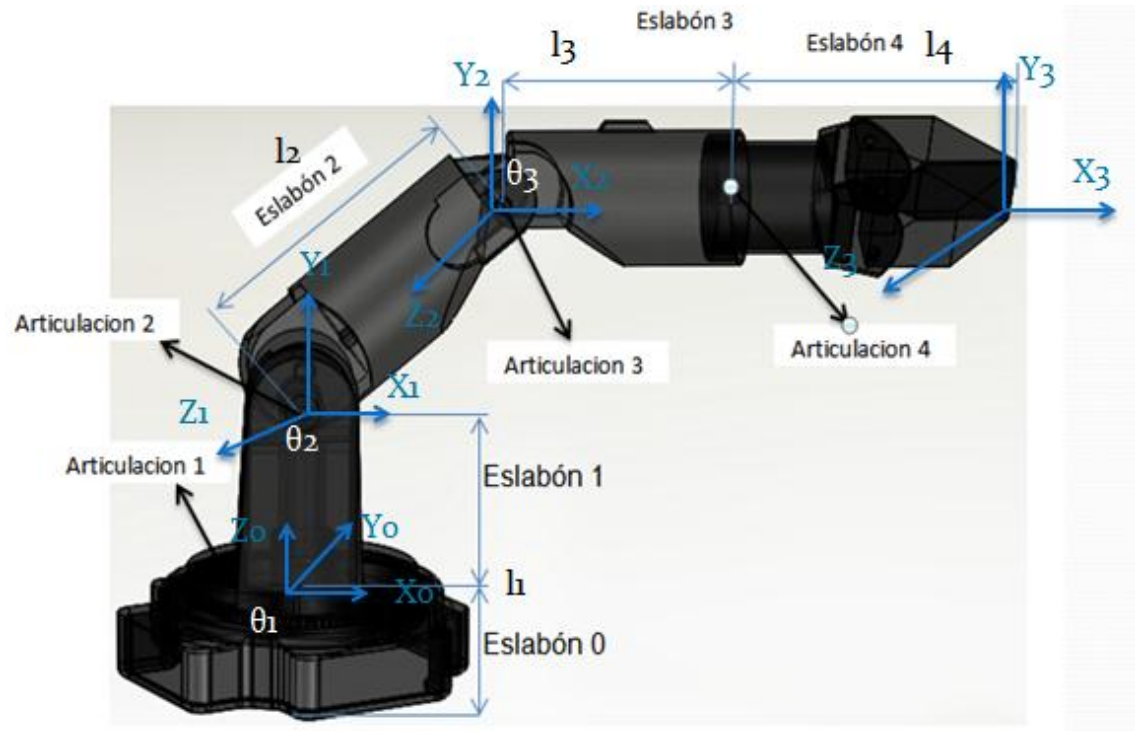


Fig. III.20 . Asignación de ejes y ángulos según las consideraciones anteriores

Fuente: Edison Coque, dibujo realizado en Solid Works 2011.

Determinación parámetros D-H.

D-H 10.- Obtener θ_i como el ángulo que hay que girar en torno a Z_{i-1} para que X_{i-1} y X_i queden paralelos.

D-H 11.- Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de Z_{i-1} , que habría de desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.

D-H 12.- Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidirá con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincidiese con $\{S_i\}$.

D-H 13. Obtener α_i como el ángulo que habría que girar entorno a x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}), para que el nuevo $\{S_{i-1}\}$ coincidiese totalmente con $\{S_i\}$.

TABLA. III.I
Asignación de valores a cada eslabón según los parámetros D_H

<i>Eslabon</i>	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	90	L_1	θ_1
2	L_2	0	0	θ_2
3	L_3	0	0	θ_3

Resolución matriz de transformación homogénea.

D-H 14. Obtener las matrices de transformación ${}^{i-1}A_i$.

D-H 15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot $T = {}^0A_5 = {}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 {}^3A_4 {}^4A_5$

D-H 16. La matriz **T** define la orientación (sub matriz de rotación) y posición (sub matriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & L_2 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & L_2 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & L_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & L_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

De donde;

$$T = {}^0A_3 = {}^0A_2 {}^2A_3$$

$${}^0A_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1\cos\theta_2 & \cos\theta_1\sin\theta_2 & \sin\theta_1 & L_2\cos\theta_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_1\cos\theta_2 & -\sin\theta_1\sin\theta_2 & -\sin\theta_1 & L_2\sin\theta_1\cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & L_2\sin\theta_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & -\sin\theta_3 & 0 & L_3\cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & \cos\theta_3 & 0 & L_3\sin\theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^0A_3 = \begin{bmatrix} c_1c_2c_3 + c_1s_2s_3 & -c_1c_2s_3 + c_1s_2c_3 & s_1 & L_3c_1c_2c_3 + L_3c_1s_2s_3 + L_2c_1c_2 \\ s_1c_2c_3 - s_1s_2s_3 & -s_1c_2s_3 - s_1s_2c_3 & s_1 & L_3s_1c_2c_3 - L_3s_1s_2s_3 + L_2s_1c_2 \\ s_2c_3 + c_2s_3 & -s_2s_3 + c_2c_3 & 0 & L_3s_2c_3 + L_3c_2s_3 + L_2s_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Una vez determinada la matriz que relaciona la posición final del extremo del brazo las coordenadas están dadas por P_x, P_y, P_z :

$$c_1=\cos\theta_1; s_1=\sin\theta_1; s_2=\sin\theta_2; c_2=\cos\theta_2; s_3=\sin\theta_3; c_3=\cos\theta_3$$

$$P_x = L_3c_1c_2c_3 + L_3c_1s_2s_3 + L_2c_1c_2$$

$$P_y = L_3s_1c_2c_3 - L_3s_1s_2s_3 + L_2s_1c_2$$

$$P_z = L_3s_2c_3 + L_3c_2s_3 + L_2s_2 + L_1$$

De donde se resuelven las identidades trigonométricas asociadas para dejar expresado en términos más compactos así se tiene las siguientes ecuaciones:

$$P_x = L_3\cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3) + L_2\cos\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_y = L_3\sin\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3) + L_2\sin\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_z = L_3\sin(\theta_2 + \theta_3) + L_2\sin\theta_2 + L_1$$

Una vez determinadas las ecuaciones, se reemplazan las variables correspondientes al valor de los eslabones según las características del brazo robótico:

Por lo tanto:

$$L_1 = 15\text{cm}$$

$$L_2 = 15\text{cm}$$

$$L_3 = L_3 + L_4$$

$$L_3 = 25\text{cm}$$

Y remplazando:

$$P_x = 25\cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3) + 15\cos\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_y = 25\sin\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3) + 15\sin\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_z = 25\sin(\theta_2 + \theta_3) + 15\sin\theta_2 + 15$$

Estas ecuaciones son las que nos permiten conocer de modo analítico la posición del actuador final y son el resultado de resolver el problema del modelo cinemático directo MCD y serán ingresadas en el programa de control en Labview que se detalla en el capítulo 4 para poder estar siempre al tanto de la ubicación del brazo robótico para cada posición de ángulo que el usuario seleccione en el programa para cada articulación.

CAPÍTULO IV

4.1 COMPOSICIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA.

4.1.1 Esquema del sistema de control.

Para estar a la par con el desarrollo y avance de la tecnología en lo que son sistemas de control automático, es necesario adentrarse en el mejoramiento de técnicas y sistemas de control utilizando nuevas formas de manejar el entorno relacionado al control de equipos o procesos dentro de la industria.

A este sistema que aplica estos principios lo denominaremos Sistema de Control Mediante Internet y Labview (SCMI-LW).

SCMI-LW.

Para implementar SCMI-LW se acondiciono el brazo robótico de tal forma que se pueda controlar cada una de sus articulaciones como también tener la capacidad de registrar señales que corresponden a posición y orientación y así poder manejar, analizar y realizar acciones de control sobre ellas, para poder mediante una interfaz HMI que será realizada en Labview, manejar el brazo robótico de forma fiable. Se desarrollaron rutinas en para registrar el número de grados que gira determinada articulación, así como algoritmos de control PID para el control de la velocidad de los motores correspondientes al hombro y codo, ya que estos debido al tipo de movimiento que realizan experimentan diferentes cargas variando así su velocidad, estas acciones serán realizadas mediante paneles creados en labview, así como también tarjetas para la interfaz con la DAQ 6009 y para el control de los motores.

Con este sistema podemos conectarnos desde una computadora que posea conexión a internet y tenga instalado la misma versión de LABVIEW como se muestra en el esquema de la figura IV.1

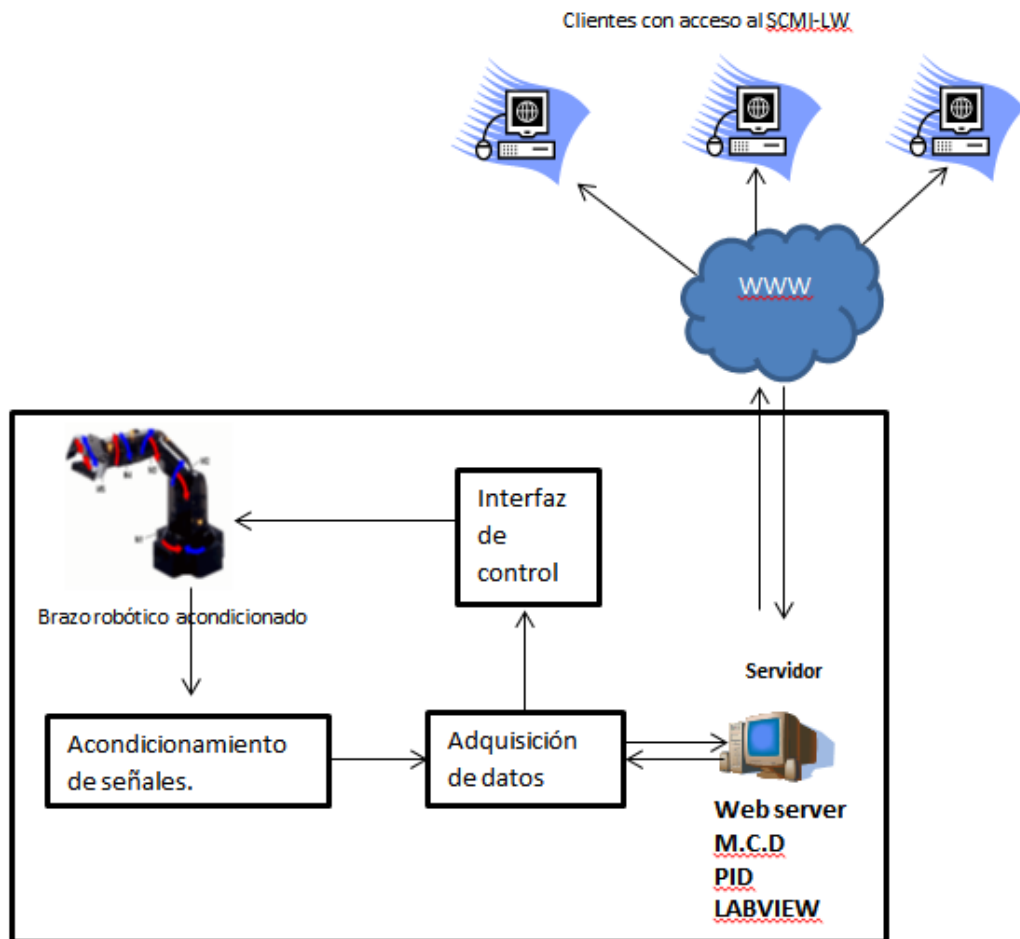


Fig. IV.1. Esquema del sistema de control

Fuente: Edison Coque.

4.1.2 Diseño tarjetas y circuitos de control.

Primero se comenzara detallando los circuitos para el acondicionamiento de las señales provenientes de los encoder ya que son todos similares y utilizan el mismo transductor para poder generar los pulsos que sirven para determinar los ángulos y en algunos casos la velocidad de determinada articulación.

Este acondicionamiento de señales es necesario ya que se utilizara una DAQ 6009 figura IV.2 con entradas digitales TTL.



Fig. IV.2. Tarjeta de adquisición de datos(DAQ 6009) de National Instruments.

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>

4.1.3 ETAPA PARA ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES PROVENIENTES DE LOS ENCODER.

Como indican las gráficas de operación del sensor ECG 3100 ver anexo1 existen zonas en las que hay un retardo en el tiempo de respuesta a la señal de entrada y una perdida en los niveles de voltaje a la salida.

Razón por la cual se utilizara un schmit trigger ver anexo 2 para normalizar esta salida a niveles TTL utilizando un CI CD40106 como indica el diagrama de la figura IV.3.

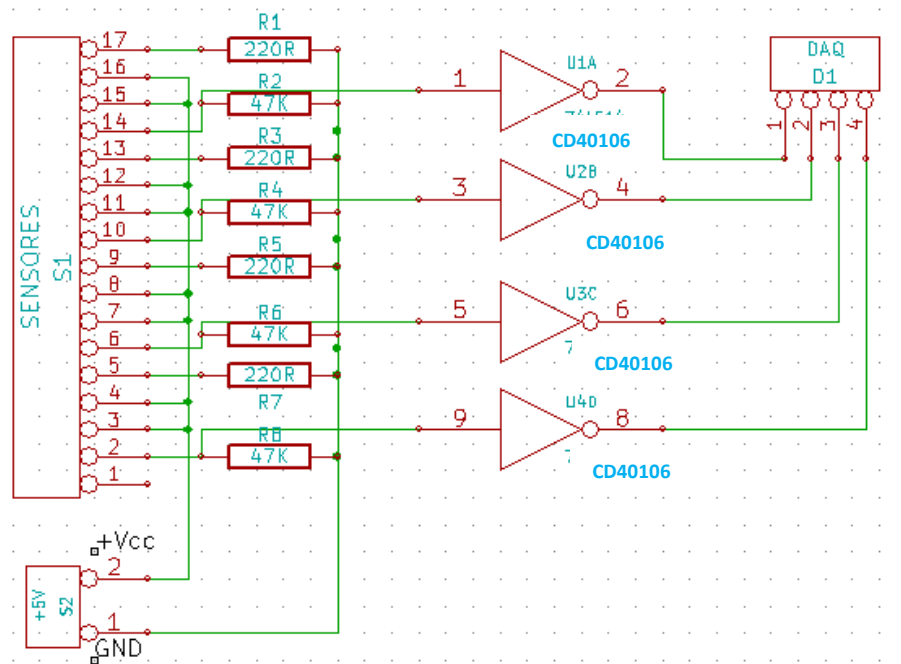


Fig. IV.3. Acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores de pulsos.

Fuente: Edison Coque, esquema realizado en kicad.

4.1.4 ETAPA DE PULSADORES.

Los pulsadores son usados como indicadores de una determinada acción como al cerrar la pinza, el control del hombro y el codo hasta una posición limite, el circuito está desarrollado para que las señales que vienen de los microswitch no tengan una zona en donde no sea posible leer su estado lógico por lo cual se utilizaron estos microswitch con estados NO y NC. Para el caso de los pulsadores utilizados estos son presionados y quedaran en esa posición indicando uno u otro valor de voltaje sea 0V o 5Vcd como indica la figura IV.4 debido a la presión ejercida por la pinza y en el caso del hombro y codo lleguen a la posición de reposo, así sabremos en qué posición están, por lo que realizaremos un procedimiento en labview que interprete esas señales e indique si la pinza está cerrada o abierta y si las articulación están en una posición inicial.

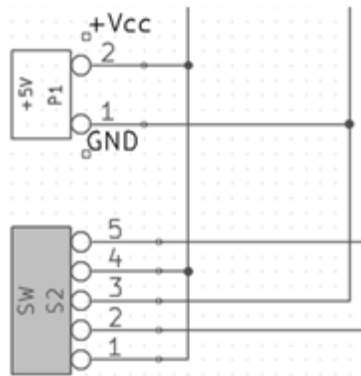


Fig. IV.4. Salida de los pulsadores a la interfaz.

Fuente: Edison Coque, esquema realizado en kicad.

4.1.5 INTERFAZ PARA EL CONTROL DE LAS ARTICULACIONES DEL BRAZO ROBÓTICO.

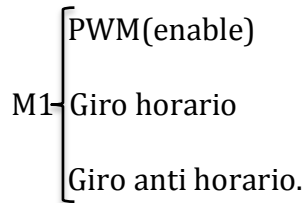
La etapa de conexión entre las salidas de la DAQ y los motores de Cd de las articulaciones están controladas mediante los PIC 16F628A que son los que deciden cual motor se activara y por cuanto tiempo o en base a que señales de activación (señales encoder) girara en uno u otro sentido.

El control de sentido de giro de los motores es controlado mediante el integrado L298N el cual permite controlar dos motores por integrado ver anexo.

El control de activación para ser enviado al PIC está desarrollado en Labview como muestra la Tabla IV.I.

Como se necesitan controlar cinco motores se debe codificar según el número de líneas de activación que estos necesitan.

Según las siguientes consideraciones la codificación se realizó de la siguiente manera:



Y así por cada motor correspondiente a las articulaciones del Brazo robótico son 5 motores 15 líneas de control por lo que se necesita 4 bits para codificar 15 acciones diferentes.

Los códigos de activación respectivos serán enviado por medio de la DAQ através de sus salidas digitales a los puertos A del PIC figura IV.5

Tabla. IV.I Codificación para las señales de control provenientes de la DAQ.

Salidas DAQ P1.0 – P1.3					M1 Base		M2 Hombro		M3 Codo		M4 Muñeca		M5 Pinza		PWM IC1	PWM IC2
D	A4	A3	A2	A1	Sh	Sa	sh	Sa	sh	sa	sh	Sa	Abre	Cierra		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X
2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X
3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X
4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	X
5	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	X
6	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
7	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	1
9	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	X	1
10	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	X	1
11	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	X	0
12	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	X	0
13	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	1
14	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	1
15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	1

Códigos de activación PIC1

Códigos de activación PIC2

El código de los PIC está desarrollado según muestra el anexo 5 y la programación en lenguaje ensamblador mediante mplab versión 7.0 (ver anexo 6), se desarrolló en un lenguaje de bajo nivel por las ventajas que presenta al momento de compilar,

como es utilizar un menor espacio en la memoria del microcontrolador y así no se generan rutinas que consuman memoria. A continuación se describen las diferencias existentes entre la programación de cada PIC

Código PIC Número1.

Lista de directivas definidas para el PIC similares para los dos PICs:

CP: contador de programa

WDT: Perro guardián

Boden: Bit de reset por voltaje.

PWRTTE: Bit de habilitación de temporizador al energizar

INT_OSC: Oscilador interno.

DATA_CP: Protección de código.

LVP: Habilitación de la programación por voltaje.

MCLRE: Habilitación del terminal de reset

list p=16f628A

#include <p16f628A.inc> ; definiciones de variables específicas para el PIC

`_CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_ON & _PWRTTE_ON &
_INTOSC_OSC_NOCLKOUT & _DATA_CP_OFF & _LVP_OFF & _MCLRE_OFF`

Configuración de registros

w equ 0

status equ 0x83

trisa equ 0x85

trisb equ 0x86

porta equ 0x05

portb equ 0x06

rp0 equ 5

rp1 equ 6

cmcon equ 0x1f

temporal equ 0x20

Declaracion de variables

m1_sh equ 0 ;Motor 1_base

m1_sa equ 1

m2_sh equ 2 ;Motor 2_Hombro

m2_sa equ 3

enable equ 4 ;Habilitar el PWM

clrf portb

Inicio del programa

inicio:

configuración de puerto PIC1

org 0x05

movlw 0x00

bsf status,rp0

bcf status,rp1

movwf trisb ; RB0-RB6 como salida.-

bcf status,rp0 ; Banco 0.-

bcf status,rp1

bsf status,rp0

bcf status,rp1

movlw b'11111111' ; port a como entrada.-

```
movwf trisa
```

```
bcf status,rp0 ; Banco 0.-
```

```
bcf status,rp1
```

```
movlw b'00000111'
```

```
movwf cmcon
```

```
movf porta,0
```

Las rutinas y subrutinas que se explican a continuación son similares para ambos microcontroladores.

Rutina de selección.

```
btfsc porta,4
```

```
goto apagar
```

```
btfss porta,1
```

goto bucler0 ; envía a la rutina de selección del 2 bit después de identificar el primer bit como cero

goto bucler1; envía a la rutina de selección del 2 bit después de identificar el primer bit como uno

```
goto inicio
```

Rutinas de activación identificados los códigos en cada Puerto de entrada

```
bucle1x0 ;
```

```
    btfss porta,3
```

```
    goto apagar ;código 000
```

```
    goto activarm2_sa ;código 100 envía a la rutina que activa el motor del hombro
```

en sentido antihorario

```
v_ultimox0
```

btfss porta,3

goto activarm1_sa ;código 010 activa el motor de la base en sentido antihorario

goto apagar ;código 110

v_ultimox1

btfss porta,3

goto activarm2_sh ;código 011 activa el motor del hombro en sentido horario

goto apagar ;código 111

bucle1x1

btfss porta,3

goto activarm1_sh ;código 001 activa el motor de la base en sentido horario

goto apagar ;código 101

apagar ; Rutina que apaga el puerto b

clrf portb

goto inicio

activarm2_sa ; Rutina de activación similar para el PIC 2

bcf portb,enable

bcf portb,m1_sa

bcf portb,m1_sh

bcf portb,m2_sh

bsf portb,m2_sa

goto inicio ; regresa al inicio del programa

Debido a que el PIC número 2 controla tres motores y por tanto 2 L298N la programación es un poco diferente como se muestra a continuación.

Configuración de registros para el PIC 2

```
w      equ 0

status equ 0x83

trisa  equ 0x85

trisb  equ 0x86

porta  equ 0x05

portb  equ 0x06

rp0    equ 5

rp1    equ 6

cmcon  equ 0x1f

temporal equ 0x20

; Declaración de variables

m3_sh  equ 0 ;Motor3_Codo

m3_sa  equ 1

m4_sh  equ 2 ;Motor4_Muñeca

m4_sa  equ 3

enable1 equ 4

abrir  equ 5 ;Motor5_Pinza(abrir/cerrar)

cerrar equ 6

enable2 equ 7
```

La diferencia es la programación adicional para la activación de la pinza por lo demás las rutinas son muy similares a las empleadas para el PIC 1.

```
abrir_P ;

    bsf portb,enable2

    bcf portb,m1_sa
```



```
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    bcf portb,cerrar
    bsf portb,abrir
    goto inicio

cerrar_P
    bsf portb,enable2
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    bsf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    goto inicio

end.
```

A continuación se presenta el diagrama correspondiente a la tarjeta de control en la cual se encuentran ubicados los microcontroladores, las entradas y salidas a ellos asignados y las compuertas AND que son utilizadas para garantizar que la señal de activación estén en un margen de operación aceptable según la figura IV.3 y las placas para su implementación se presentan en el anexo 7.

- Compatible con LabVIEW, LabWindows / CVI y Measurement Studio para Visual Studio. NET
- Software controlador NI-DAQmx y LabVIEW SignalExpress LE software de registro de datos NI interactivo

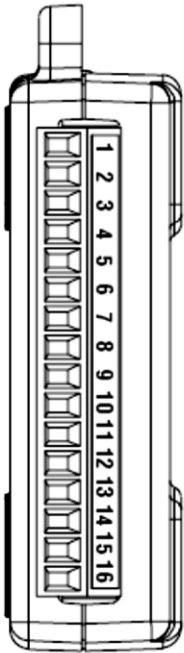
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Fig. IV.6. Distribución de los canales análogos

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>

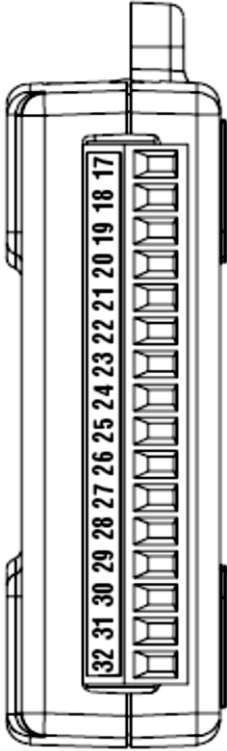
Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Fig. IV.7. Distribución de los canales digitales

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>

DESCRIPCIÓN DE LAS SEÑALES DE ENTRADA Y SALIDA DE LA TARJETA NI 6009.

TABLA. IV.II Características de los puertos DAQ 6009

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	-	-	Punto de referencia de la Tierra- para medidas single-ended del AI, diagonal punto de la vuelta actual para las medidas diferenciadas del modo, voltajes del AO, digitales señales en el conector de la entrada-salida, +5 VDC fuente, y la referencia de +2.5 VDC.
AI <0..7>	Varias	Entrada	La entrada análoga a canal 0 a 7-para las medidas single-ended, cada señal son un canal del voltaje de entrada análoga. Para las medidas diferenciadas, el AI 0 y el AI 4 son las entradas positivas y negativas del canal diferenciado 0 de la entrada análoga. La señal siguiente aparea también los canales diferenciados de la entrada de la forma: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, y <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Salida	El canal análogo 0 provee la salida del voltaje del canal 0 del AO.
AO 1	GND	Salida	El canal análogo 1 provee la salida del voltaje del canal 1 de AO.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Salida o entrada	Entrada-salida Digital se puede configurar individualmente cada señal como una entrada o salida.
+2.5 V	GND	Salida	Referencia externa de +2.5 V para la prueba.
+5 V	GND	Salida	La Fuente de +5 V proporciona energía de +5 V hasta 200 mA.
PFI 0	GND	Entrada	El pin de PFI 0- es configurable como un disparador digital o entrada del contador de eventos

Fuente: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/201987>

CAPITULO V

5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SCMI-LV.

En este capítulo se detallara la implementación de los módulos que comprende el sistema de control, la conexión de las tarjetas, la interfaz gráfica desarrollada en labview en conjunto con la adaptación del brazo robótico.

5.1.1 Conexión del brazo robótico al sistema de control y acondicionamiento de señales.

Con el brazo robótico ya acondicionado y una vez desarrollada la tarjeta de control figura V.1 y la tarjeta correspondiente a la interfaz figura V.2 en la cual constan las etapas de acondicionamiento de señales procedemos a realizar la conexión entre el brazo robótico con la interfaz entre la DAQ y la tarjeta de control como muestra la figura V.3. Las señales que controlan a los motores del brazo robótico, las señales

de los sensores que miden los grados y la señal proveniente del switch de la pinza están conectados mediante un puerto DB25.

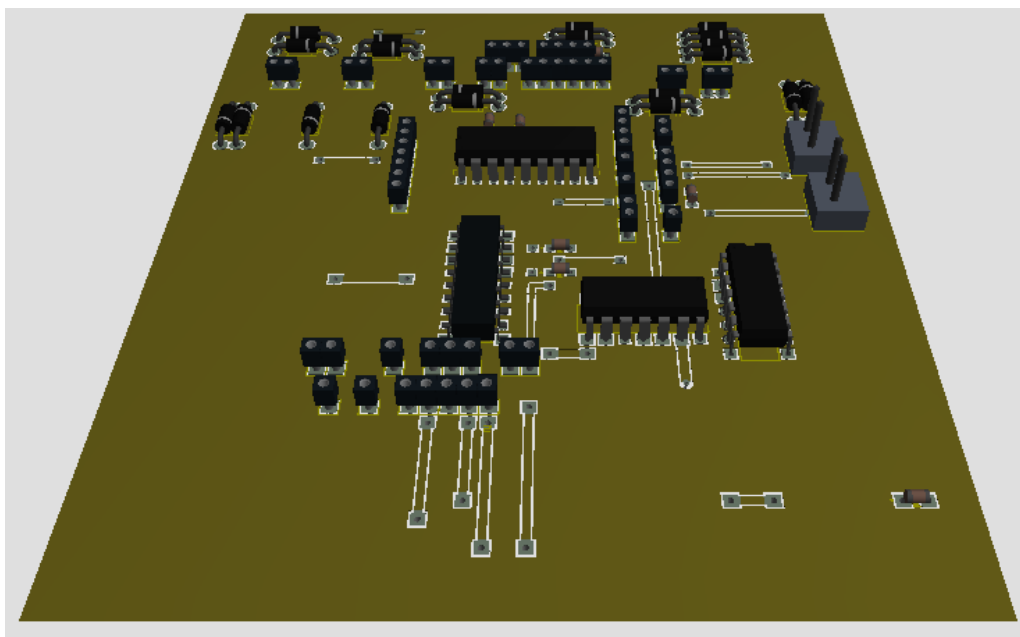


Fig. V.1. Tarjeta de control.

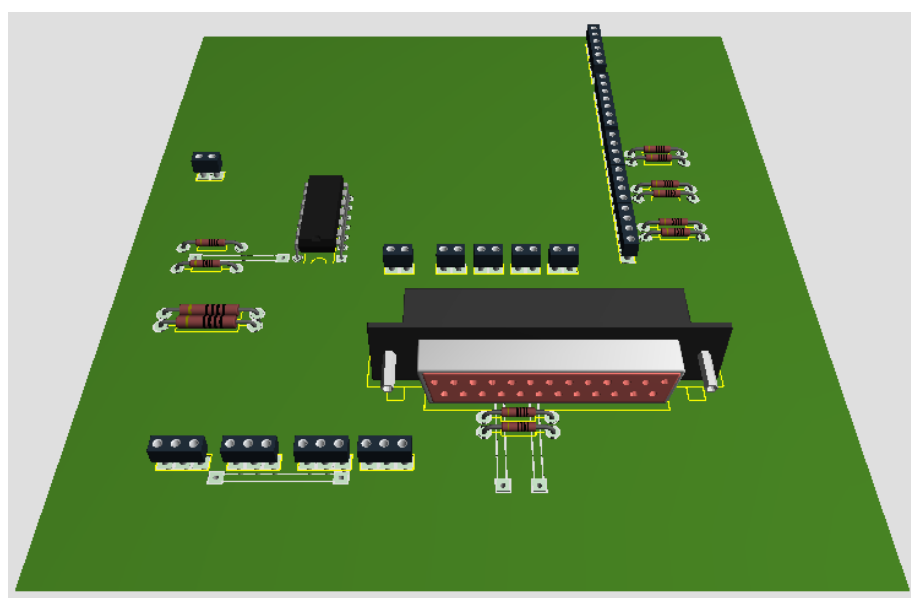


Fig. V.2 Tarjeta de acondicionamiento e interfaz

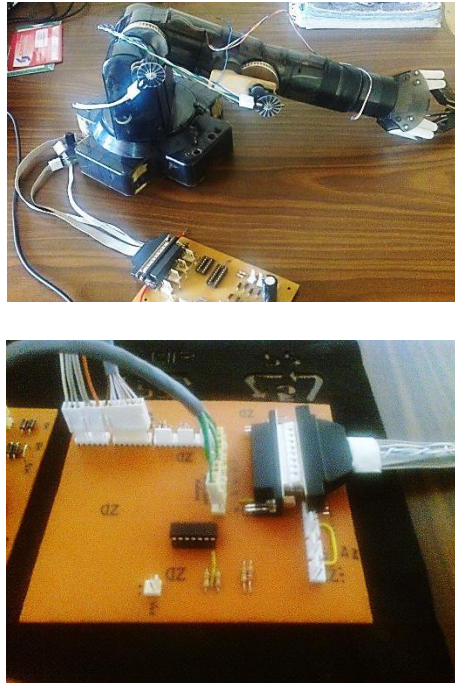


Fig. V.3. Conexión del Brazo Robótico a la tarjeta de control y la interfaz

5.1.2 Conexión del sistema de control y acondicionamiento a la tarjeta de adquisición de datos.

Una vez conectado adecuadamente la parte relacionada con los sensores se procede a la conexión entre los terminales de entrada de la DAQ y los terminales de salida de la tarjeta, entre las salidas provenientes de la DAQ (bits de control) a las entradas de la etapa de control de los motores de la tarjeta como se muestra en la figura V.4.

En esta parte se deberá tener especial cuidado ya que si por error se conectara una entrada a una salida se puede correr el riesgo de dañar algún puerto de la DAQ.

ENVÍO DE DATOS TARJETA DE CONTROL-DAQ

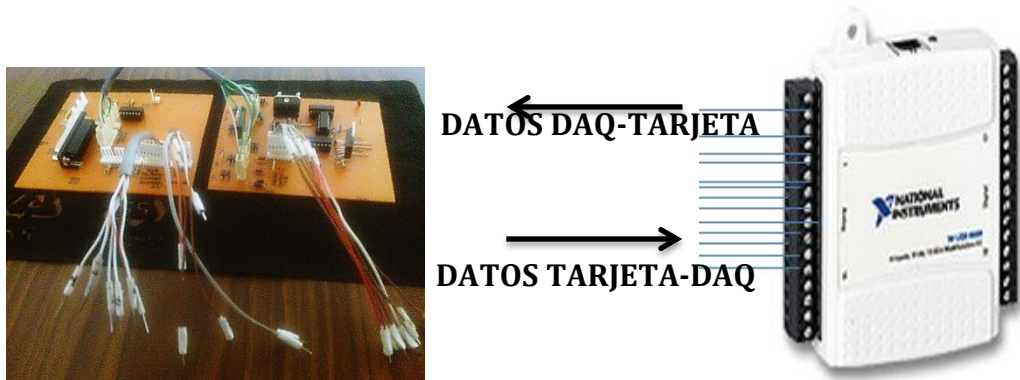


Fig. V.4. Conexión DAQ tarjeta de control.

Las conexiones entre las tarjetas se lo realiza sin alimentar ninguna de estas y tampoco conectar la DAQ a la computadora, esto se lo hace para evitar algún daño en los microcontroladores o en la propia tarjeta de adquisición de datos DAQ 6009. Una vez realizado las conexiones y habiendo comprobado el correcto cableado de entradas, salidas y alimentación se procederá con la configuración de la DAQ.

5.1.3 Configuración de la tarjeta de adquisición de datos.

La parte más importante para el correcto funcionamiento del sistema está relacionado con la configuración de la DAQ 6009 para poder enviar y recibir los datos desde y hacia el programa desarrollado en labview, para ello se detallara a continuación describiendo los pasos a seguir para utilizar la NI DAQ 6009 ver anexo 8 .

5.1.4 Desarrollo de la interfaz de control con LABVIEW.

Para poder controlar ya todo el sistema correspondiente al brazo robótico mediante la tarjeta de control y la DAQ 6009 se desarrolló una interfaz HMI con el software de desarrollo para aplicaciones industriales LABVIEW, este programa nos ofrece grandes ventajas para lo que son sistemas de control ya que posee un ambiente amigable al usuario fácil de comprender y manipular con la facilidad de la programación orientada a objetos y una interfaz gráfica donde se manejan Vis y demás herramientas para el desarrollo de paneles.

5.1.4.1 Pantalla de inicio.

Para poder acceder al sistema se creó un sub Vi denominado portada figura V.5 el cual es el primer panel frontal que corre al momento de la ejecución del programa y que mediante estructura case figura V.6, que dependiendo del valor ingresado en la variable booleana ingresar llamara a un sub Vi denominado Control.vi el cual es el cuerpo principal del programa y donde se realizan todas las operaciones correspondientes al control del brazo robótico.



Fig. V.5 Panel frontal.

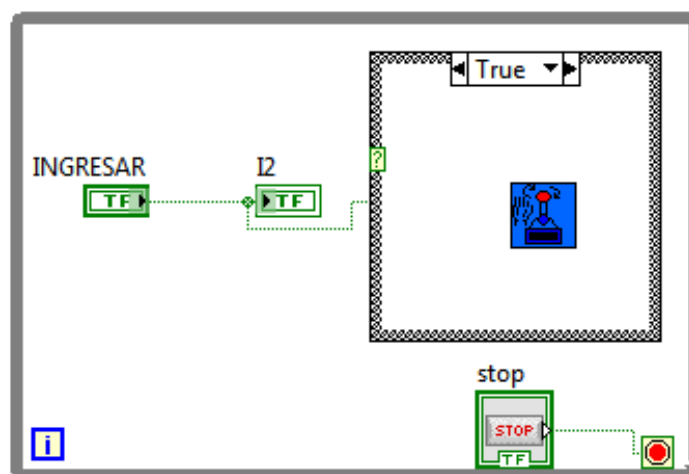


Fig. V.6. Diagrama de bloques portada.

5.1.4.2 Subvi control robot.

Este Vi es en donde se realiza los cálculos y el control del brazo robótico, está desarrollado con un icono para poder llamarle desde la pantalla inicial del programa figura V.7, esta es una manera de facilitar la programación que ofrece el sistema de control Labview.

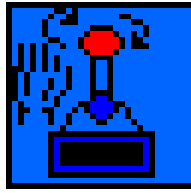


Fig. V.7. Icono SubVi control.

Una vez ejecutado este sub programa se muestra el cuerpo principal de la interfaz figura V.8 donde por defecto se encuentra abierta la pantalla correspondiente a la base.

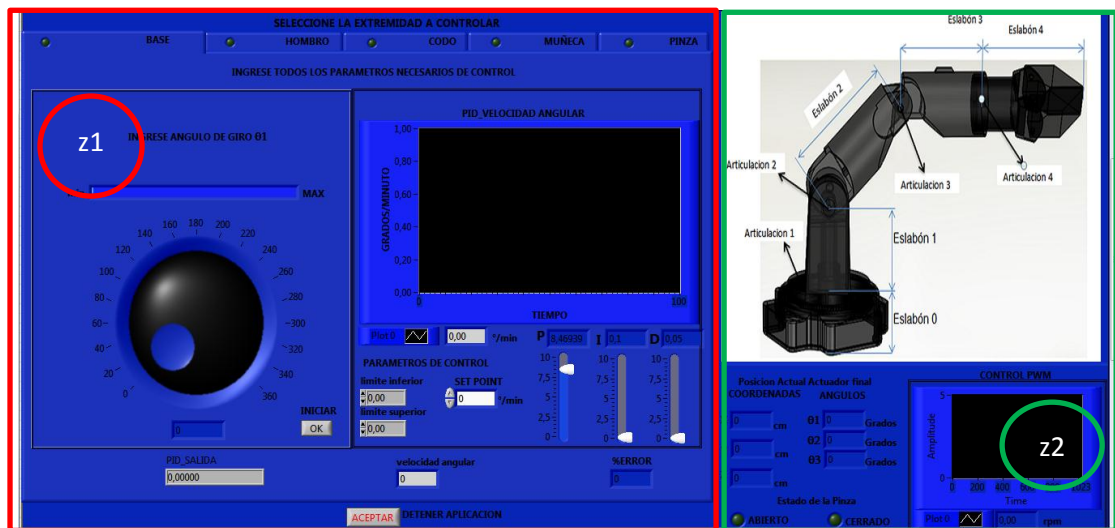


Fig.V.8 Panel frontal Control.vi.

Esta interfaz esta constituida por una zona (z1) donde se puede realizar el control de las partes que constituyen el brazo ingresando por su respectivo nombre mediante un menú.

Además consta de una zona(z2) en donde se visualiza las tareas globales que conlleva mover una articulación del robot, donde podemos apreciar la posición, la velocidad, el estado del actuador final y el número de grados recorridos por cada articulación como muestra la figura V.8.

La selección de cada ventana en el panel principal está controlada por un procedimiento que activa Banderas Booleanas según la opción escogida, asegurando así que solo este activa una opción a la vez, como ejemplo se muestra este procedimiento en la figura V.9 en la que se ha seleccionado la opción correspondiente al control de la pinza

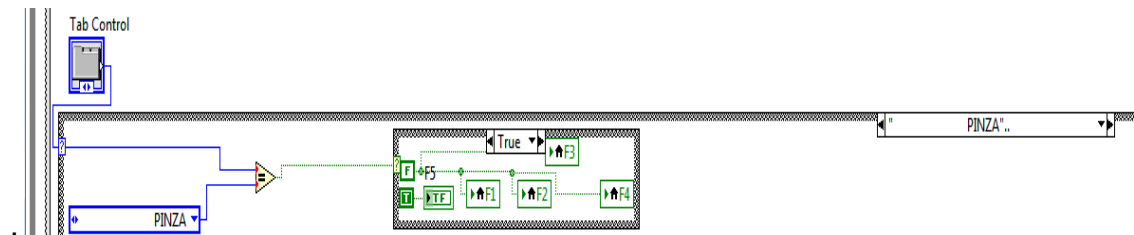


Fig. V.9. Control de menús.

Como se puede observar en la figura anterior solo está activa la bandera correspondiente al panel de control de la pinza.

5.1.4.3 Ingreso de parámetros.

Una vez seleccionada la articulación correspondiente se debe ingresar los parámetros para dicha articulación hay que ingresar todos los valores ya que Labview no pasa a la siguiente instrucción si no han sido ingresados todos los datos previamente figura V.10.

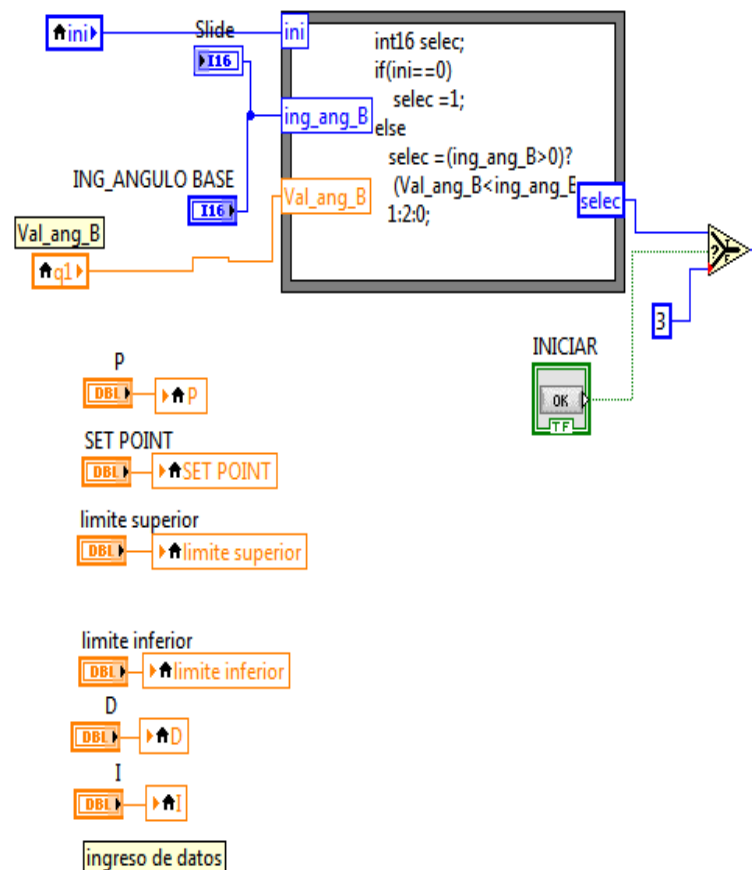


Fig. V.10 Diagrama de bloques ingreso de datos articulación base.

Los valores que corresponden a el número de grados que se desea mover el brazo según sea la articulación seleccionada (ING_ÁNGULO_BASE), el valor del ángulo en el que se encuentra la articulación (Val_ang_B) registrado por la DAQ y la variable de inicio (ini) son comparadas en un nodo de fórmula para evitar ingreso de ángulos negativos o ángulo inicial cero.

No se puede ingresar un ángulo negativo aunque teóricamente es posible ya que el sistema está diseñado para partir de una posición inicial y desde allí moverse (incrementar_ángulo) y si es el caso regresar a su posición inicial (decrementar_ángulo), esta acción se lo realiza mediante un slide figura V.11.

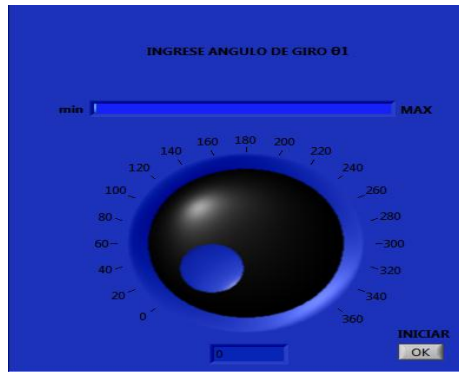


Fig. V.11. Slide ingreso ángulo deseado

Manipulación puertos digitales DAQ 6009.

Para poder realizar el control del brazo mediante las tarjetas de control e interfaz es necesario realizar la comunicación con la DAQ para poder manipular los puertos digitales de esta y así para los códigos de control de la tarjeta se utilizan el puerto P1.0 al P1.3 que los utilizaremos como salidas mientras que los otros puertos del P.0 al P.7 serán utilizados para leer los estados de los sensores de contacto y registrar los ángulos generados por los encoder en la base, el hombro y el codo y que mediante estas lecturas podremos controlar el brazo mediante el MCD.

Para leer y escribir los datos en la tarjeta utilizamos la creación de Task que nos permiten crear diferentes rutinas o tareas según sea el puerto que utilizaremos.

La figura V.12 muestra los Task utilizados en el diagrama de Labview para enviar y recibir los datos.

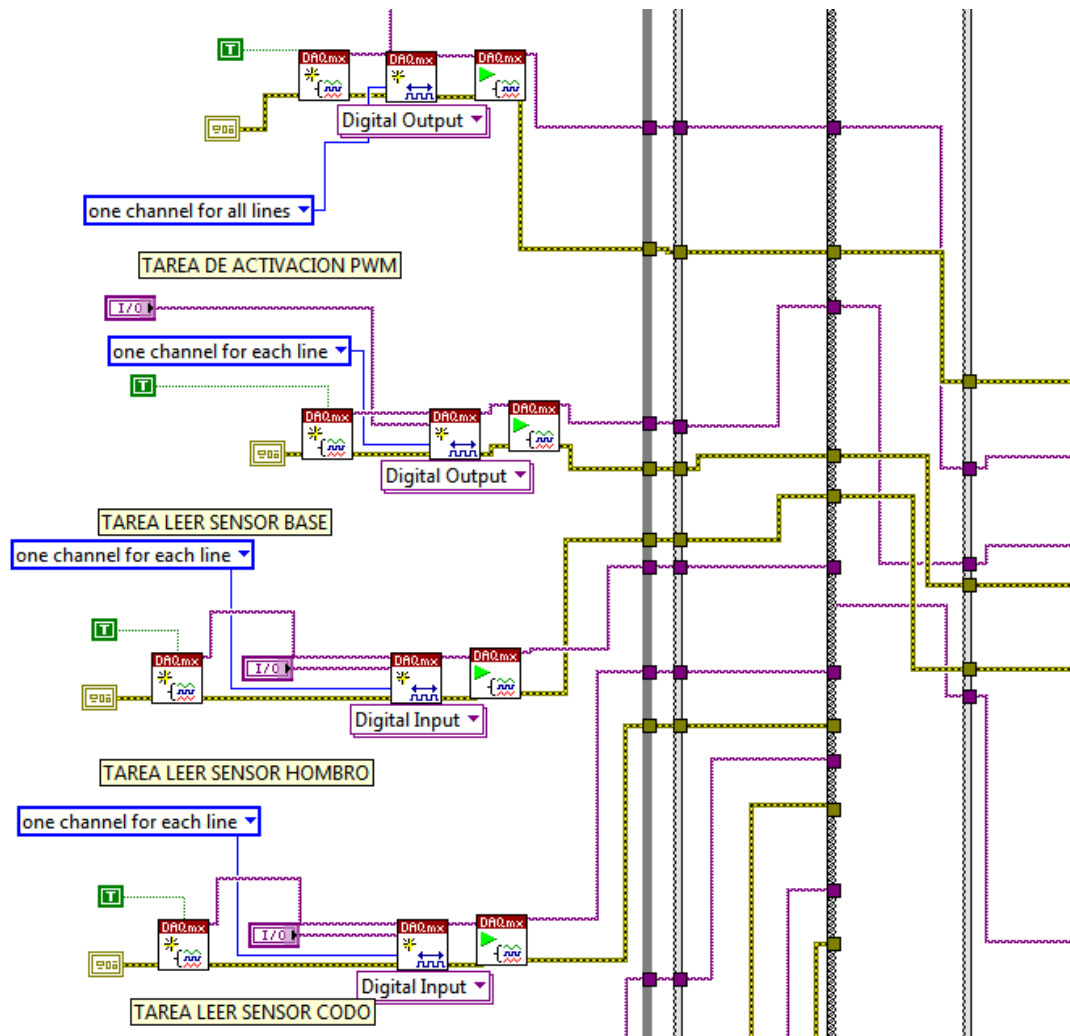


Fig. V.12. Task para entradas y salidas de datos.

Según sea el valor de los datos ingresados el programa activara la secuencia incrementar ángulos o decrementar figura V.13.

Pero primeramente una vez aceptados los datos desde el panel frontal correra la task que activara la articulación correspondiente en la que se está trabajando y luego correra la secuencia de incrementar o decrementar ángulos, estos procedimientos son los mismos implementados en el hombro y en el codo ya que utilizan el mismo tipo de sensor.

El procedimiento incrementar cuenta los ángulos recorridos y los compara con el valor que el usuario fijo previamente y estará activado hasta que llegue a ser igual

y se detendrá y si por el contrario se selecciona un ángulo inferior el procedimiento decrementara el ángulo alcanzado anteriormente.

El puerto P0.0 recibirá los pulsos mediante la instrucción READ TASK DAQ.mx ya generados en el encoder y los procesara para determinar la velocidad y si cabe el caso aplicar algún correctivo como una acción PID.

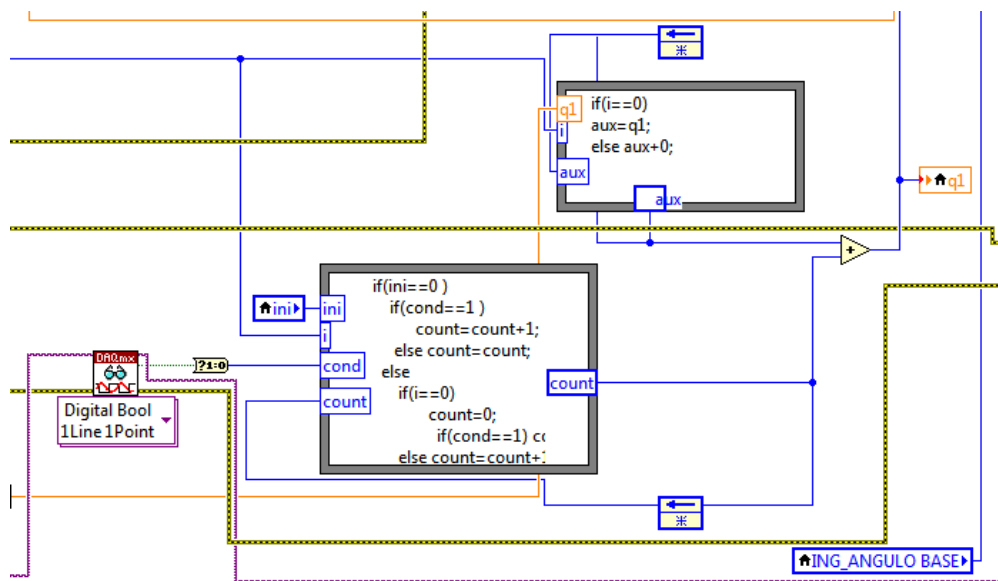


Fig. V.13 Diagrama de bloques incrementar ángulos.

Cuando se ha recorrido un ángulo y se ingresa un ángulo mayor a este el programa corre la rutina de decrementar el ángulo donde la respuesta del encoder es la resta al número de pulsos registrados figura V.14.

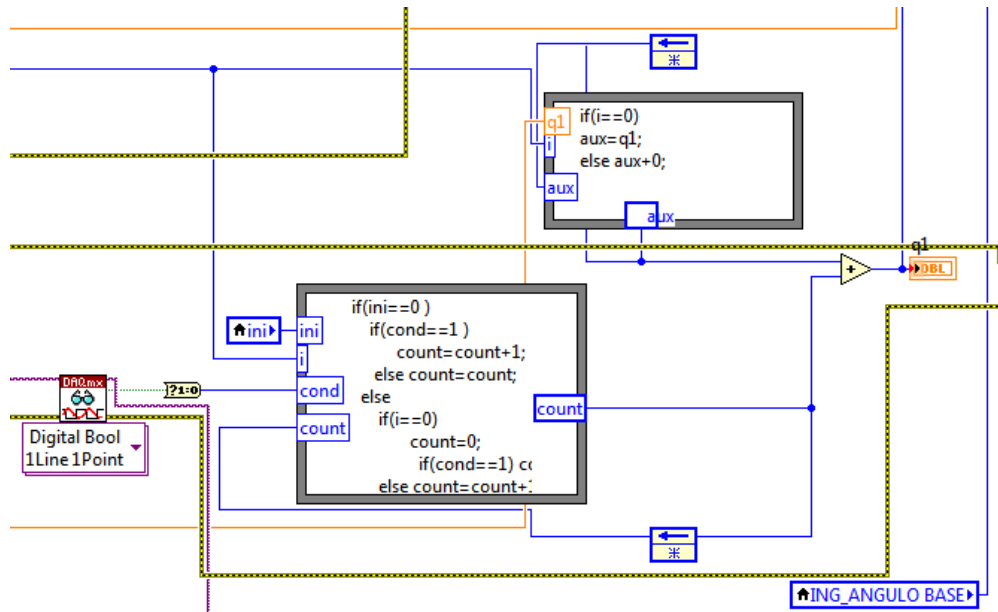


Fig. V.14 Diagrama decrementar ángulos.

Etapa de control PID.

La etapa de control PID esta implementada para las articulaciones de la base el hombro y el codo.

Según el valor da la velocidad de los encoger los pulsos que envíen en determinado tiempo se realizara la acción de control PID figura V.15



Fig. V.15 Panel frontal VI- PID

El VI PID ayudara a evaluar la velocidad de los motores de las articulaciones y realizar una acción de control sobre estos para que no se salgan de un margen de operación adecuada y los encoders puedan sensar correctamente los ángulos que recorren las articulaciones el diagrama de bloques de este VI se muestra en la figura V. 16.

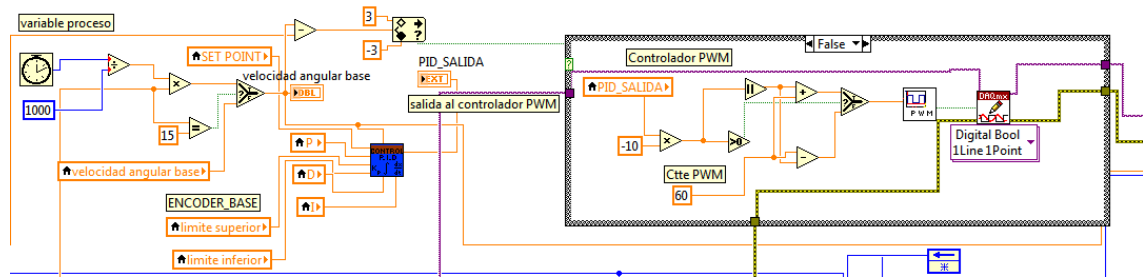


Fig. V.16 Diagrama Etapa de control PID.

Esta etapa calcula el error en el desplazamiento de la variable de entrada con respecto a un set point el cual en este caso es la velocidad angular de las articulaciones la cual se calcula según las características de los encoder que son el número de pulsos registrados en un segundo que corresponden a las RPM

Según la ecuación del capítulo III por la relación de transmisión este valor corresponde a una relación de transmisión de 1 a 243 con lo que la velocidad de cada motor registrado experimentalmente es $930,69rpm$ por lo que con la relación de transmisión de la caja reductora tenemos que:

$$w2 = \frac{w1}{243}$$

Por lo que:

$$w2 = 3,83rpm.$$

Y como los discos codificados constan de 15 segmentos tenemos que por segundo tenemos $3,83/60 = 0,03$ vueltas por cada segundo.

Así que 15 segmentos corresponden una revolución por lo que se tiene la velocidad angular registrada por los encoder es igual a $1,53 \text{ revxseg}$ nos da que la velocidad angular para el control es igual a 3 revxseg para que el sistema no sea tan lento.

Y esta es la velocidad que se estará controlando con esta etapa.

Control muñeca pinza.

Si se desea controlar la pinza se ingresa al menú pinza y se puede activar mediante dos estados que son cerrar o abrir figura V.17.

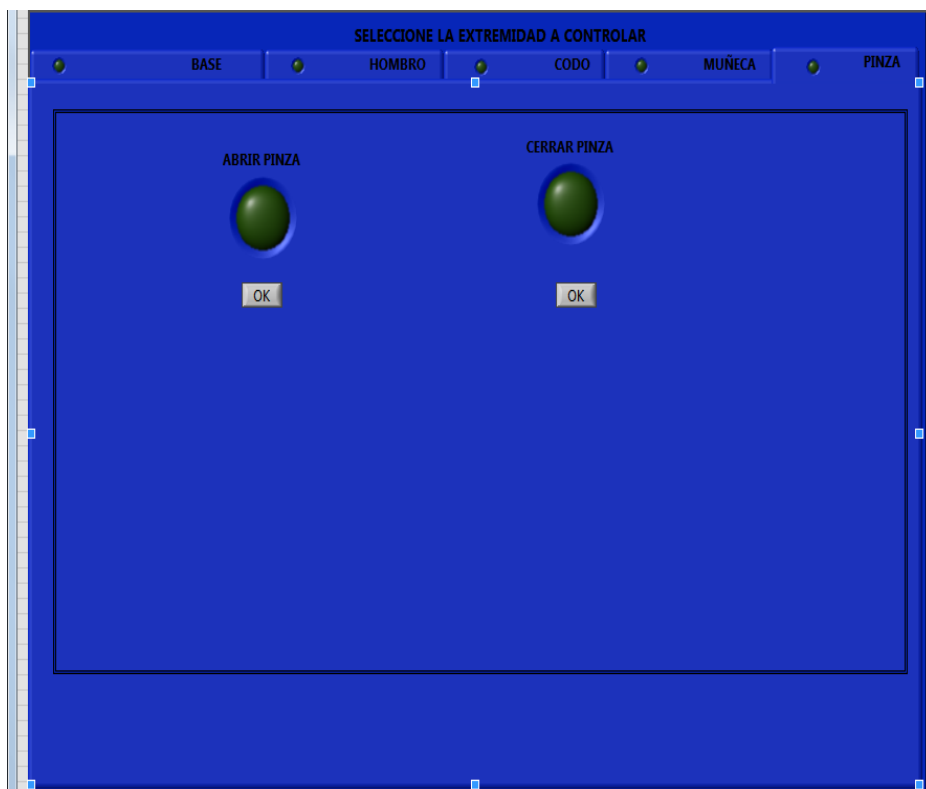


Fig. V.17. Panel activación pinza.

De la misma manera para el control de la muñeca lo realizamos según la figura

V.18

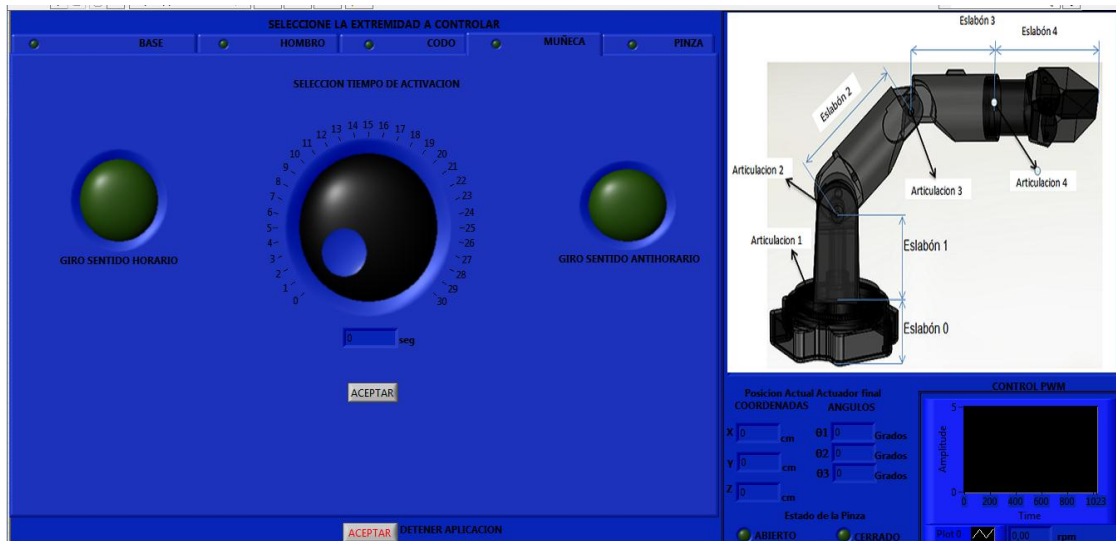


Fig. V.18. Panel frontal control muñeca.

En este panel solo controlamos la articulación su sentido de giro y el tiempo que tarde en realizar este giro, el diagrama de la secuencia se muestra en la figura V.19.

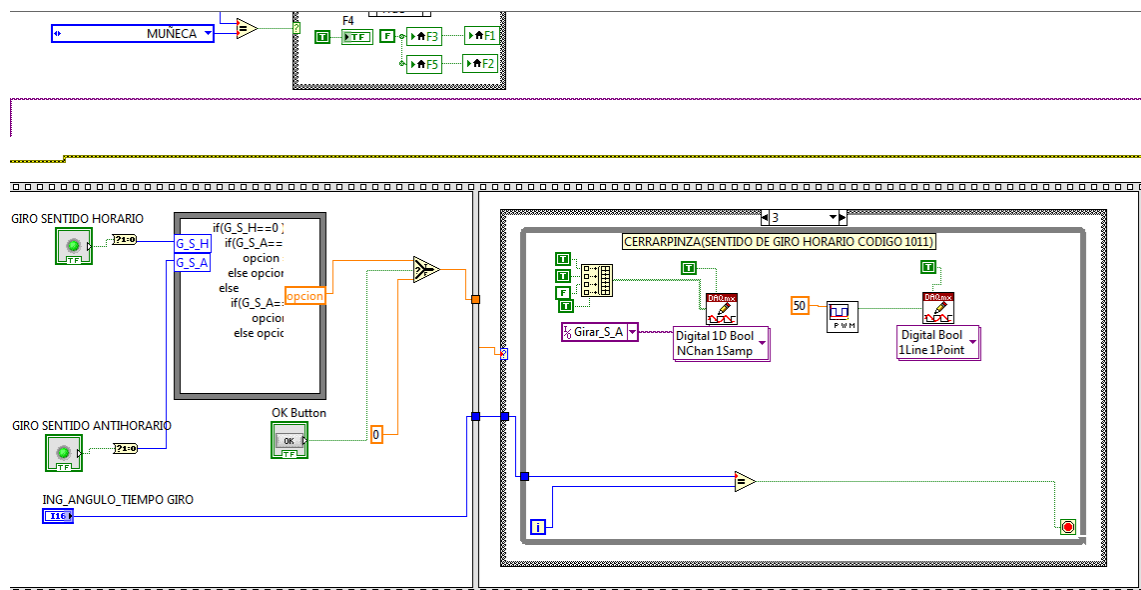


Fig. V.19. Diagrama control muñeca.

5.1.5 Programación del modelo cinemático directo.

Una vez realizado el análisis del brazo robótico en el capítulo anterior y determinado las ecuaciones de las matrices y las coordenadas de los puntos

relativos a la posición del brazo P_x , P_y , P_z , estos resultados se usaran en los Vis de labview para poder establecer la posición del brazo robótico al momento de mover cada articulación.

Según la matriz que relaciona el último eslabón con la base:

$${}^0T_4 = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3$$

de donde se tienen las siguientes ecuaciones:

$$P_x = 25\cos\theta_1\cos(\theta_2 - \theta_3) + 15\cos\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_y = 25\sin\theta_1\cos(\theta_2 + \theta_3) + 15\sin\theta_1\cos\theta_2$$

$$P_z = 25\sin(\theta_2 + \theta_3) + 15\sin\theta_2 + 15$$

Estos valores son ingresados en un nodo de fórmula para calcular la posición en la que se encuentra el efector final con respecto a un sistema de referencia fijo figura

V.20

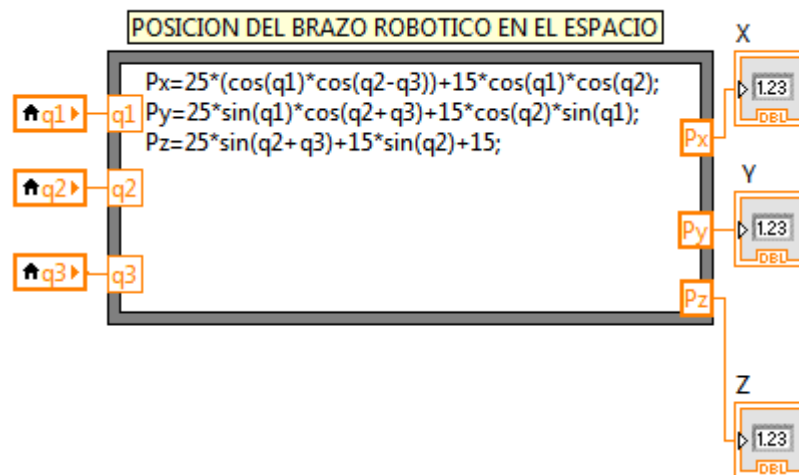


Fig. V.20 Nodo para la asignación de parámetros al MCD

Y estos valores se muestran en tres variables que se indican en pantalla para conocer las coordenadas del brazo figura V.21

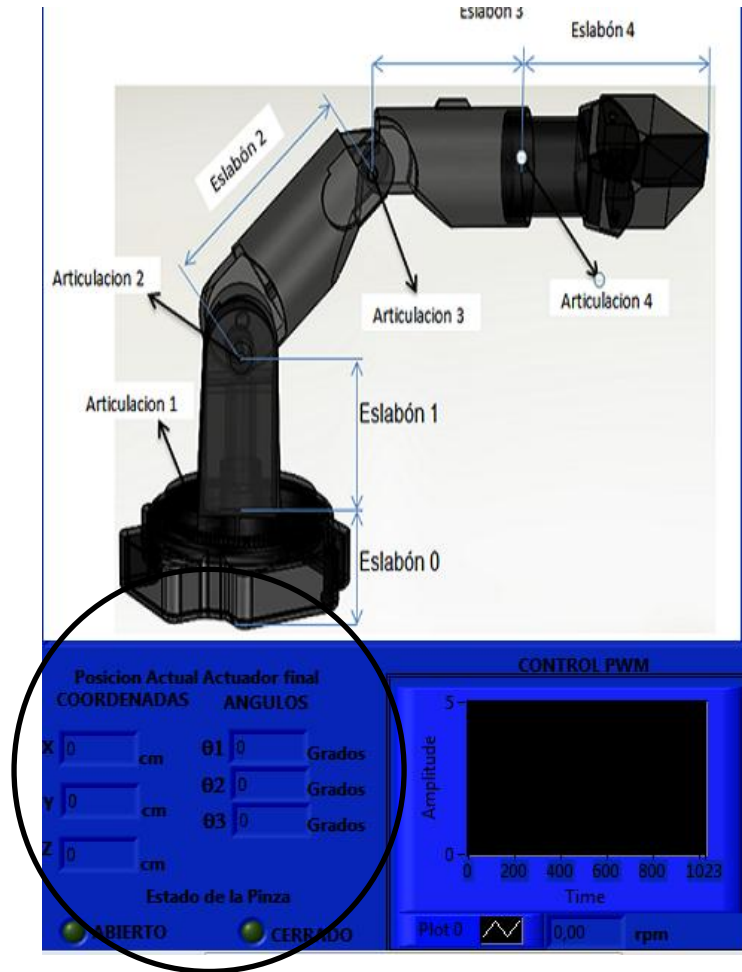


Fig. V.21. Parámetros que indican la posición final del actuador del brazo.

Como indica la figura V.21 la zona marcada corresponde a los parámetros calculados de la posición del brazo robótico mediante el modelo cinemático directo mediante el algoritmo D_H.

5.1.6 Configuración servidor web de Labview.

5.1.6.1 Configuración web publishing de Labview.

Para realizar la publicación de un Vi en la web se deben seguir los siguientes pasos.

- 1.- Habilitar el puerto de comunicación de labview figura V.22

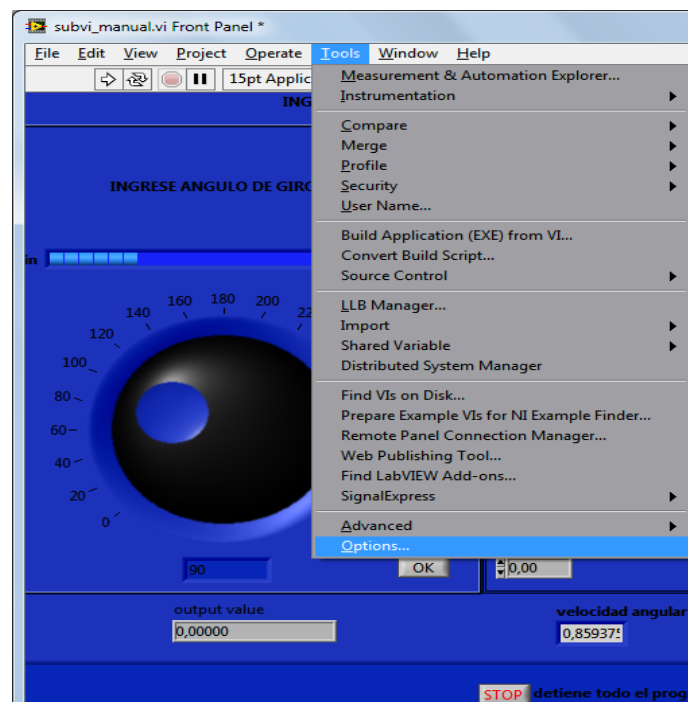


Fig. V.22 Menú para seleccionar la función remot panel

Para habilitar el puerto nos dirigimos a Tools/options. Figura V.23

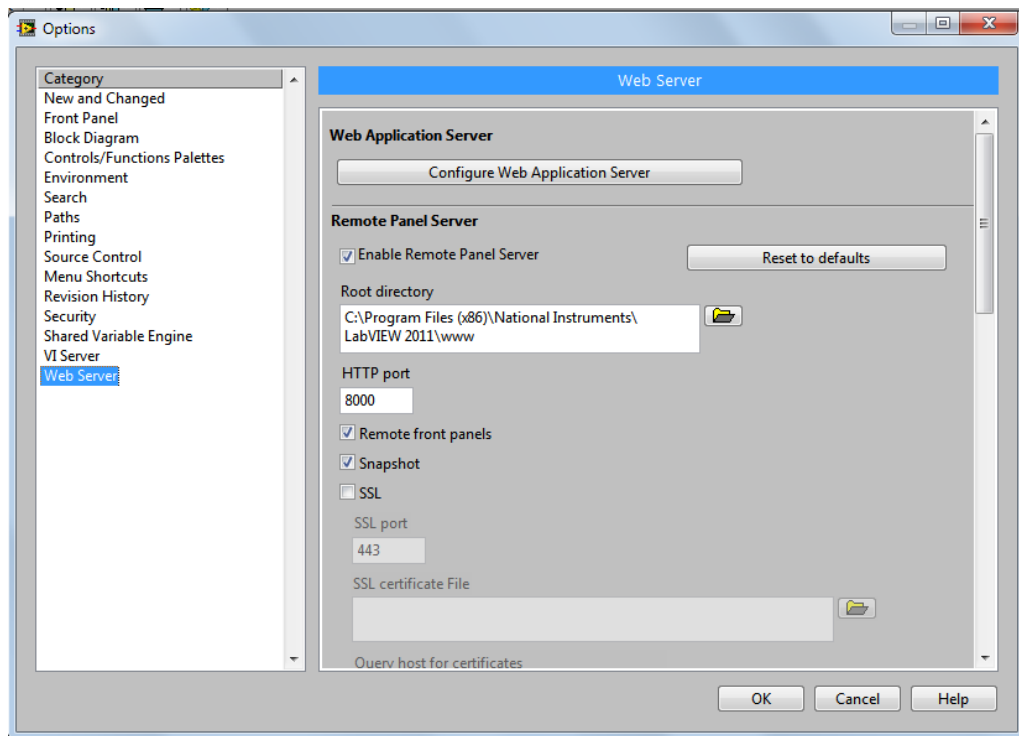


Fig. V.23 Configuración servidor Labview

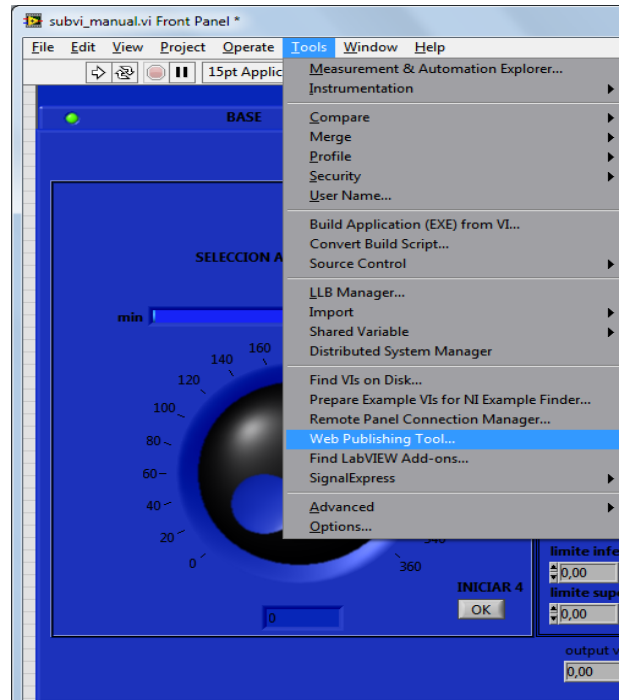


Fig. V.24 Selección de web publishing tool

Al habilitar la opción de web publishing se puede escoger el título con el que se mostrara la página en los web explorer, así como también se debe cargar o guardar primero el VI que se mostrara como también el tipo de control que se quiere tener del instrumento virtual remoto figura V.25

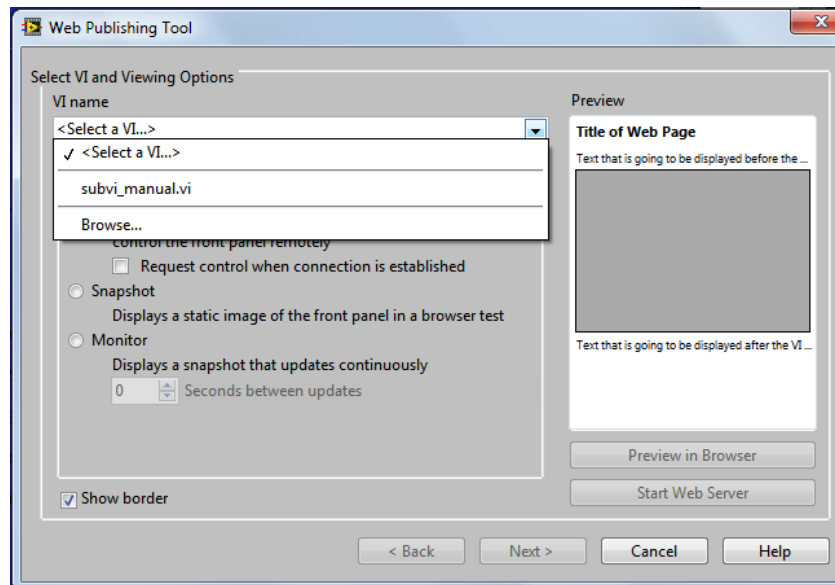


Fig. V.25. Selección del VI a mostrar en la red

En adelante solo hay que seguir los pasos indicados en el wizard figura V.26. a la V.27 y se habrá subido con éxito la aplicación de control remota de labview.

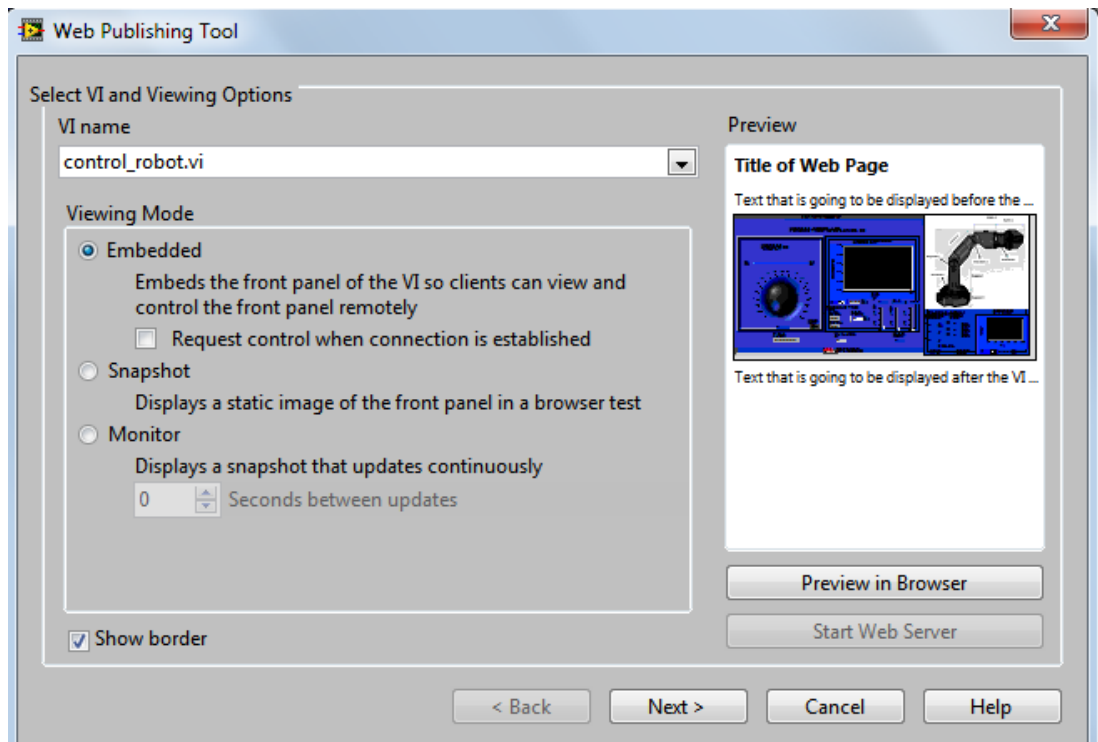


Fig. V.26. Habilitación de márgenes.

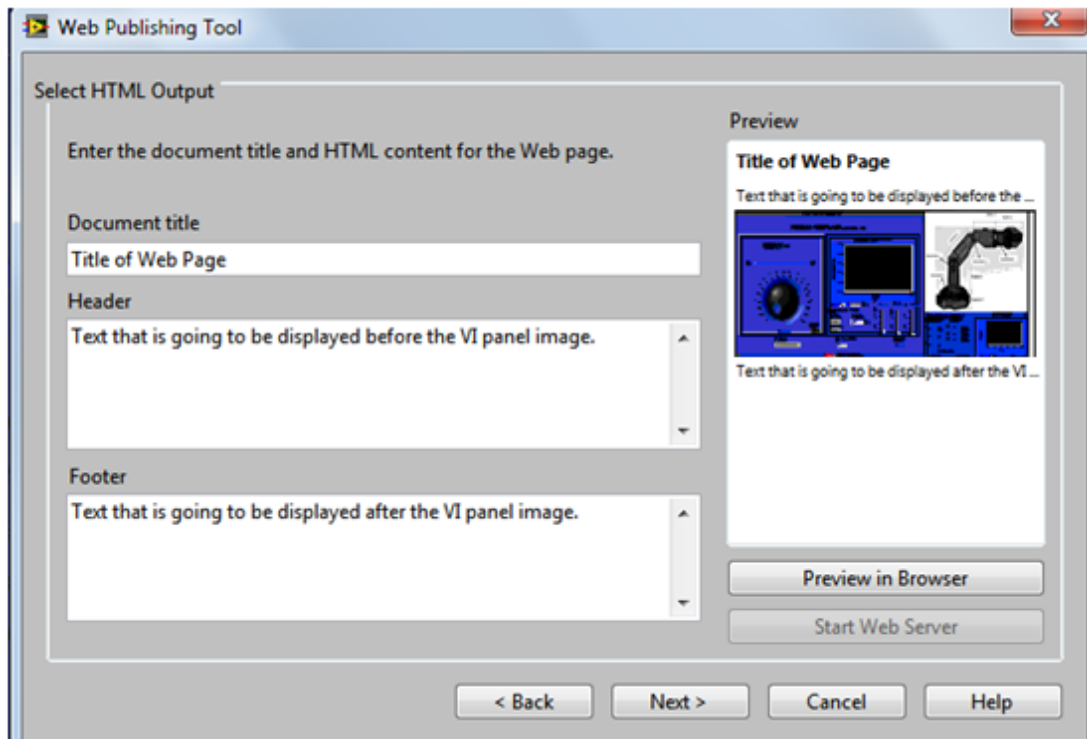


Fig. V.27. Habilitar Titulo de página.

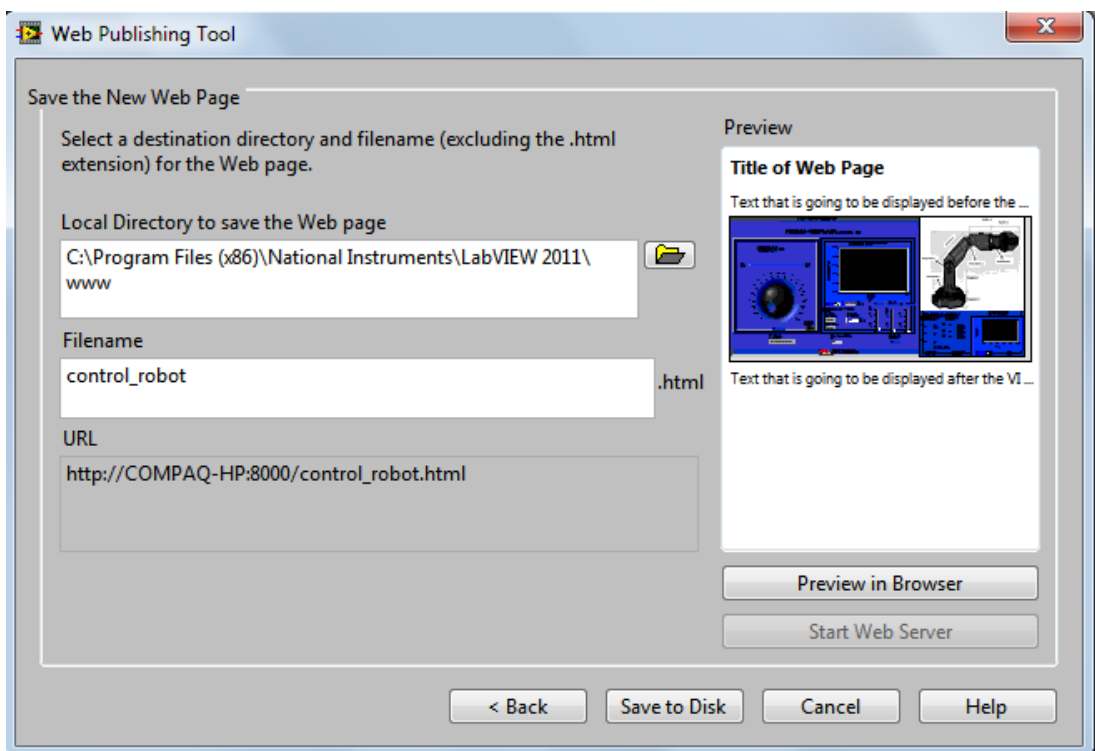


Fig. V.28. Cargar el VI

Una vez realizados los pasos anteriores se ubica el puerto de comunicación del host y se habrá accedido a la aplicación que reside en un servidor que esté conectado al internet y que además posea la misma versión de Labview.

Para controlar desde el cliente el panel del servidor es necesario habilitar la instrucción request control of vi para asi poder tener total control del VI remoto.

Figura V.29

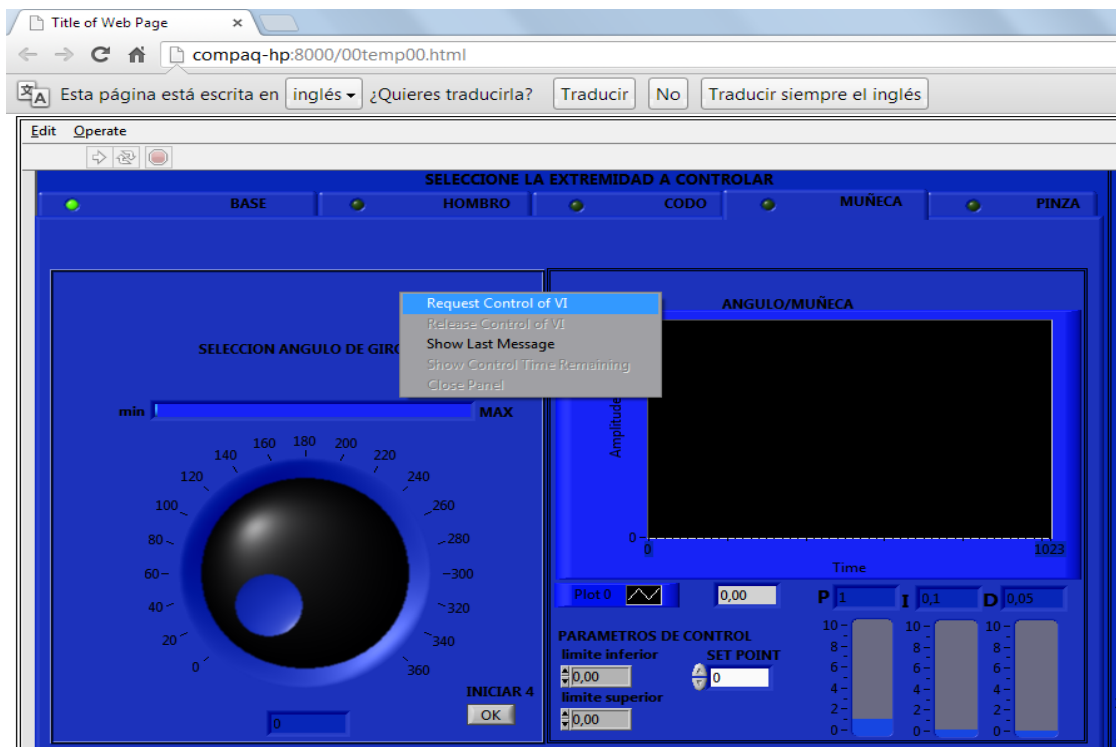


Fig. V.29. Activación Control desde un Cliente

CAPITULO VI

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1.1 ACTIVACIÓN DEL SISTEMA EN EL SERVIDOR

Para comprobar el funcionamiento entre el computador que realizara la función de servidor, y el brazo robótico una vez conectado a la tarjeta de adquisición de datos y la tarjeta de control, se pondrá en funcionamiento el sistema sin conectar al PC cliente y determinar la respuesta de los sensores cuando las articulaciones se pongan en movimiento y determinar la relación entre el ángulo recorrido y el ángulo medido por los sensores.

Así en el programa principal se probará cada articulación y se registraran estos valores para determinar la precisión del sistema teniendo en cuenta el ángulo máximo que puede recorrer cada articulación.

Para poner en funcionamiento todo el sistema se comenzó por conectar primeramente las tarjetas al brazo robótico y alimentar cada una de ellas, posteriormente y por seguridad se conecta la DAQ 6009 comenzando por conectar las salidas digitales de la DAQ a la tarjeta de control y por ultimo conectar las señales provenientes de la interfaz teniendo en cuenta los voltajes de referencia de estas señales.

6.1.2 Resultados de mediciones a las articulaciones angulares.

6.1.2.1 Ángulos medidos según diferentes posiciones.

Para saber cómo se comporta el sensor se tomaron medidas según las diferentes posiciones del brazo como son totalmente extendido y en ángulo recto ya que en estas posiciones el brazo experimenta diferente carga sobre su base.

Para determinar errores en la medición se procedió a tomar medidas según los valores de la tabla VI.I sin activar el sistema de control para registrar solo la respuesta de los encoder.

TABLA VI.I
DETERMINACIÓN DE ERRORES DE MEDIDA EN ENCODER.

Base/encoder1		Error Base	Hombro/encoder2		Error Hombro	Codo/encoder3		Error Codo
Ang_Rec Base	Ang_Med Base		Ang_Rec Hombro	Ang_Med Hombro		Ang_Rec Codo	Ang_Med Codo	
2	2	0	10	10,1	0,1	10	10,2	0,2
8	8,1	0,1	15	15,1	0,1	20	20,3	0,3
16	16,3	0,3	20	20,1	0,1	30	30,3	0,3
24	24,3	0,3	30	30,2	0,2	40	40,3	0,3
60	60,3	0,3	35	35,2	0,2	60	60,4	0,4
80	80,4	0,4	45	45,3	0,3	65	65,4	0,4
120	120,4	0,4	60	60,3	0,3	70	70,4	0,4
180	180,5	0,5	75	75,3	0,3	80	80,5	0,5
240	240,6	0,6	90	90,4	0,4	90	90,5	0,4
300	300,6	0,6	100	100,4	0,4	100	100,5	0,5

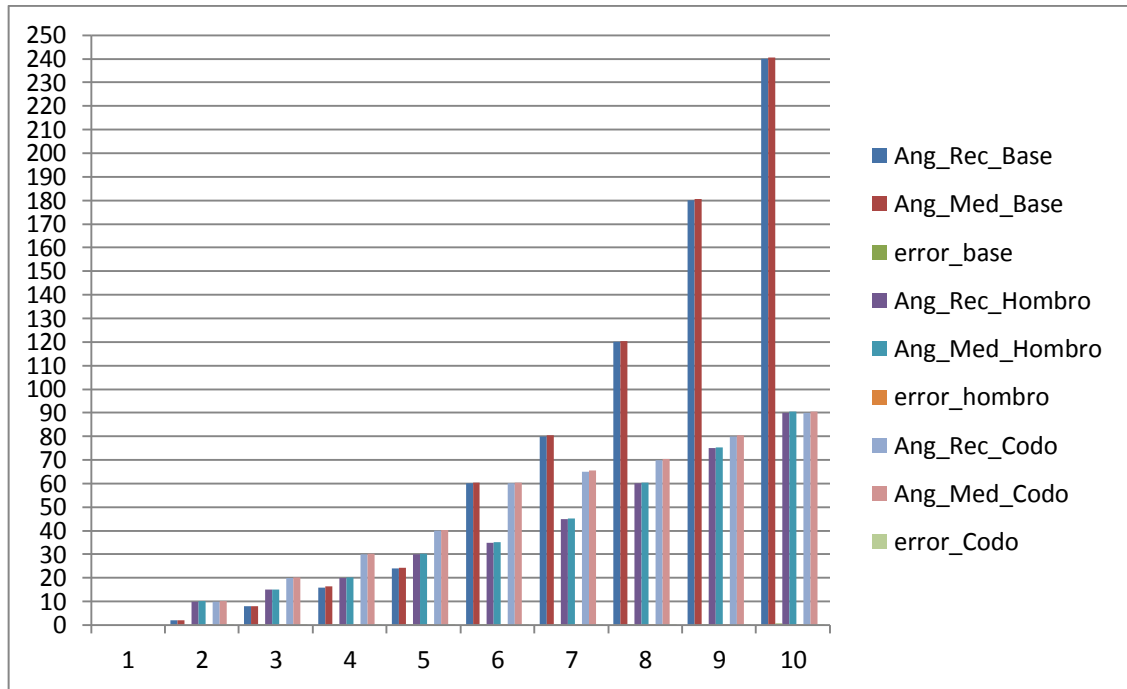


Fig. VI.1. Error registrado entre ángulo medido y deseado.

Con el sistema de control en funcionamiento se determina en cuanto afecta el error de los sensores de posición con respecto a las medidas reales del eje de referencia. Y así conocer la respuesta del sistema a los valores que pueden ser ingresados al modelo cinemático y determinar la posición, es así, que para estimar la resolución del brazo es necesario tomar medidas de varias posiciones ingresados al sistema.

6.1.2.2 Cálculo Posición

TABLA VI.II. COMPARACIÓN DE POSICIÓN DESEADA

Base		Hombro		Codo		SCMI-LW		
Ing_ang	Reg_ang	Ing_ang	Reg_ang	Ing_ang	Reg_ang	X	Y	Z
2	2,2	10	10,1	4	4	19,54	0,69	10,78
36	36,1	1	1	7	7,2	16,10	11,72	7,13
18	18,2	4	4,1	10	10,2	18,72	6,16	7,65
6	6,2	10	10,1	15	15,2	18,81	2,07	8,86
10	10,3	15	15,2	17	17,1	17,86	3,41	10,24
60	60,3	35	35,3	20	20,3	6,96	15,46	16,32
8	8,2	55	55,2	35	35,3	5,68	2,11	19,61
36	36,3	23	23,1	8	8,3	14,38	11,09	14,50
160	160,2	75	75,3	70	70,2	5,27	4,29	18,53
200	200,3	80	80,3	90	90,2	7,62	-3,96	16,11

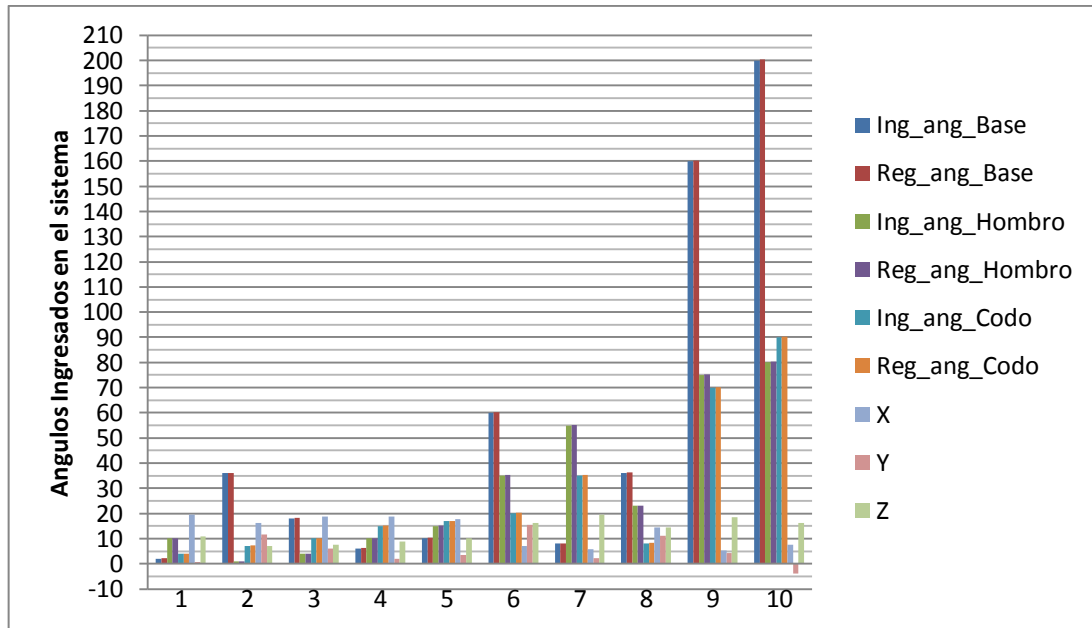


Fig. VI.2 Errores de ángulos por cada articulación

6.1.2.3 Determinación de error mediante el uso del sistema de localización.

Determinamos en cuanto afecta la variación entre el ángulo real y el ángulo obtenido por los sensores al sistema desarrollado en labview y así probar que la resolución del MCD está acorde con la posición final a la que llega físicamente el brazo robótico estas medidas corresponde a la tabla VI.3

**TABLA. VI.3
COMPARACIÓN DATOS REGISTRADOS DEL SISTEMA CON EL MODELO
MATEMÁTICO.**

Ángulos			Modelo Matemático			Medidas reales			Error		
			Px	Py	Pz	Px	Py	Pz	Px	Py	Pz
θ1	θ2	θ3	cm	cm	Cm	Cm	cm	cm	%	%	%
0	90	0	0,00	0,00	55,00	0,00	0,00	55,00	0	0	0
90	90	90	0,00	25,00	30,00	0,00	25,00	30,00	0	0	0
46	45	45	7,37	25,61	25,61	7	25,2	25,2	3,6	3,5	3,5
50	70	15	4,70	14,91	49,57	4,5	14,7	49,3	2	2	2,6
46	45	90	-4,91	20,35	7,93	-4,6	20,1	7,8	3	2,4	1,5
30	30	30	22,08	19,00	22,50	22	18,8	22,3	1	1,8	1,2
30	45	30	14,79	17,38	32,08	14,5	17,1	32	1	2,8	1,2
60	35	90	-1,03	23,06	3,12	-1	23	3,1	1,3	1,6	1,2
60	80	10	1,30	9,66	53,26	1,1	9,4	53,2	1,2	2,6	1,3
110	70	0	-4,68	12,86	52,59	-4,5	12,7	52,4	1,8	1,5	1,8

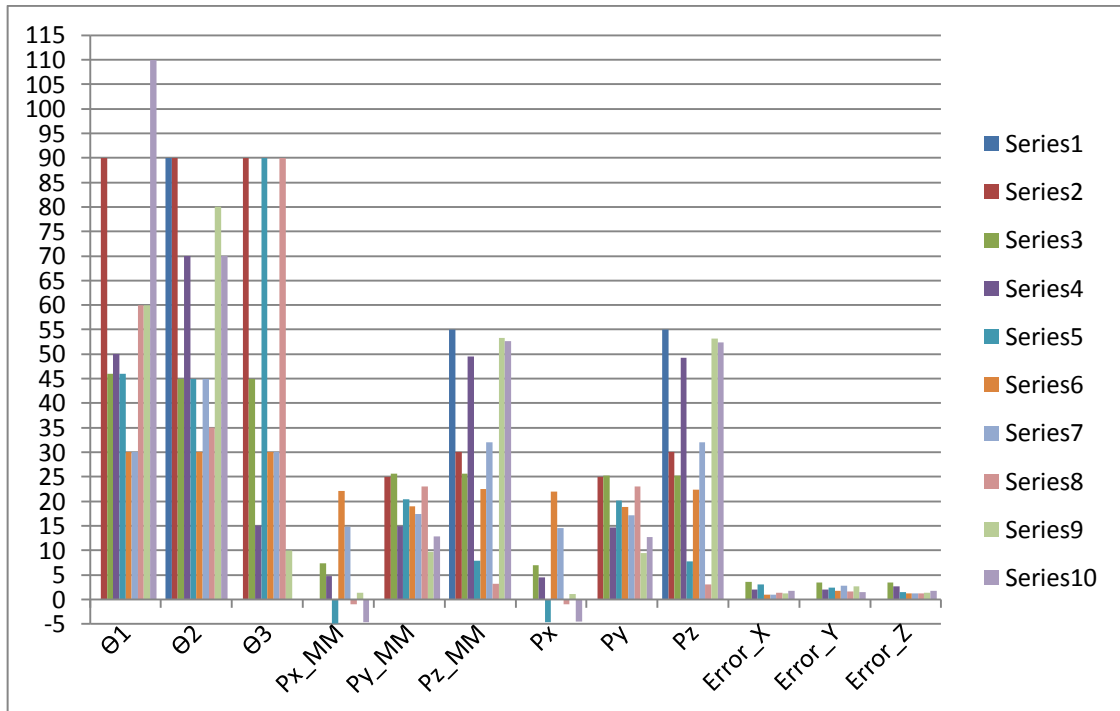


Fig. VI.3. Error comparado localización real con el modelo matemático.

6.1.3 Funcionamiento cliente-servidor con labview.

Una vez determinado los errores en la medición procedemos a evaluar el desempeño del sistema ya conectado a la red, manipulando el brazo robótico desde un computador cliente.

6.1.3.1 Resultados medidos al momento de enviar instrucciones desde el cliente al servidor.

Los resultados al momento de activar el sistema fueron de 1.5seg de retardo, esto depende de la velocidad del internet, en este caso el internet de la ESPOCH está alrededor 100Mbps, esta velocidad no utiliza el sistema ya que depende de la cantidad de usuarios que utilizan el internet. El tiempo de retardo disminuye a

0,87seg cuando la red de internet es utilizada un 40% por los estudiantes entre las 4 y 6 de la tarde.

Concluimos que para controlar en tiempo real un sistema a distancia con mayor rapidez al enviar y recibir datos entre el computador y el servidor es necesario contar con un canal exclusivo de internet para estos sistemas.

Este sistema recomendamos como una aplicación útil en casos en los cuales se requiera manipular o controlar sin importar la distancia acciones desde lugares alejados o seguros para el operador, con solo acceder a un computador conectado a internet y que tenga instalado el software de control Labview.

CONCLUSIONES

1. Cuando se realizan operaciones a distancia o de forma remota se debe procurar que exista un canal de comunicación que garantice la transferencia de los datos de forma segura.
2. Una mala calibración en los sensores pueden dar lecturas equivocadas por lo que se tiene que manejar acondicionadores de señales para normalizarlas y garantizar los niveles de referencia.
3. La interfaz de potencia debe estar acorde a la exigencia de la carga para no ocasionar daños en los elementos más sensibles en las tarjetas de control.
4. La utilización del software de control Labview facilita la implementación y el control mediante una interfaz gráfica.
5. Según el número de entradas y salidas que se requieran para realizar un control efectivo del brazo robótico se determina el tipo de tarjetas a ser utilizadas y así poner en funcionamiento de forma segura el sistema.
6. Al realizar un análisis sobre el equipo a ser controlado nos da las pautas y las condiciones para poder escoger de una manera efectiva los sensores necesarios para determinar las variables físicas que se quieren medir y controlar.
7. La resolución del modelo cinemático directo mediante el algoritmo D-H facilita la resolución de la matriz de transformación homogénea
8. Para realizar el control del brazo robótico es importante obtener las coordenadas que relacionan el modelo cinemático directo y así programar el sistema de control.

RECOMENDACIONES

1. Dependiendo del tipo de control que se desee realizar se puede escoger entre el MCD o MCI que poseen diferentes características en su resolución y presentan distintas ventajas uno con otro, en este caso se utilizó el MCD.
2. Existen distintos modelos matemáticos para determinar la localización de un sistema expresado en un sistema de referencia con respecto a otro, se debe escoger el modelo dependiendo de las ventajas que cada uno de estos presenta.
3. Se deben determinar los sistemas de referencia siguiendo los criterios establecidos por un determinado autor ya que existen distintos criterios para realizar la asignación de los sistemas de referencia.
4. La correcta asignación y representación de los sistemas de referencia al brazo robótico permitirá una correcta resolución de la matriz de transformación homogénea.
5. Es mucho más sencillo encontrar los parámetros de las coordenadas de localización del brazo robótico utilizando el algoritmo D-H aunque existen otros modelos igualmente prácticos.

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de control para un brazo robótico de cinco grados de libertad utilizando Labview e Internet, en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales de la Escuela Politécnica Del Chimborazo.

Para controlar la posición del actuador final del brazo robótico mediante cualquier maquina conectada a la intranet del laboratorio de electrónica.

Mediante el método inductivo procedió a resolver la cinemática de robots manipuladores mediante el algoritmo Denavit-Hartenberg (D-H) para determinar la posición del actuador final, después analizar la aplicación web server de Labview para realizar el control mediante internet.

Utilizando un computador, una tarjeta de adquisición de datos, libros, también el software de diseño Solid Works para definir cada articulación del brazo y aplicar el algoritmo D-H.

Los resultados al momento de activar el sistema fueron de 1.5seg de retardo, esto depende de la velocidad del internet, en este caso el internet de la ESPOCH está alrededor 100Mbps, esta velocidad no utiliza el sistema ya que depende de la cantidad de usuarios que utilizan el internet. El tiempo de retardo disminuye a 0,87seg cuando la red de internet es utilizada un 40% por los estudiantes entre las 4 y 6 de la tarde.

Se concluyó que para controlar en tiempo real un sistema a distancia con mayor rapidez al enviar y recibir datos entre el computador y el servidor es necesario contar con un canal exclusivo de internet para estos sistemas.

Este sistema se recomienda como una aplicación útil en casos en los cuales se requiera manipular o controlar sin importar la distancia acciones desde lugares alejados o seguros para el operador, con solo acceder a un computador conectado a internet y que tenga instalado el software de control Labview.

SUMMARY

We design and implement a control system for a robotic arm five degrees of freedom using labview and internet, in the laboratories in Electronic Engineering and Industrial Networks Control School of the ESPOCH.

To control the position of the end effector robotic arm using any machine connected to the Electronic lab intranet. By inductive method proceeded to resolve the kinematics of robot manipulators using the algorithm Denavit-Hartenberg(D-H) to determine the position of the end effector, then analyze the application Labview web server to do the control internet way.

We use a computer, a data acquisition card, books, also the Solid Works Design software to the define each arm joint and apply the algorithm D-H. The results at the moment of the system activation was 1.5 sec delay, this depends on the speed of the internet, in this case the internet of the ESPOCH is around 100Mbps, this speed does not use the system as it depends on the number of users using the internet. The delay time decreases to 0.87 sec when the internet network is used by 40% of students between 4 and 6 pm.

We conclude that in order to control in real-time a faster remote system that sends and receives data between the computer and the server you must have an exclusive internet channel for these systems.

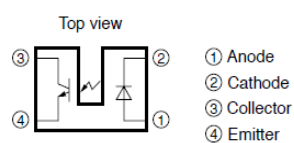
This system recommend as a useful application in cases where required to manipulate or control actions regardless of the distance from far away or safe for the operator. With only access to a computer connected to the internet and have installed Labview control software.

ANEXOS

ANEXO1.-

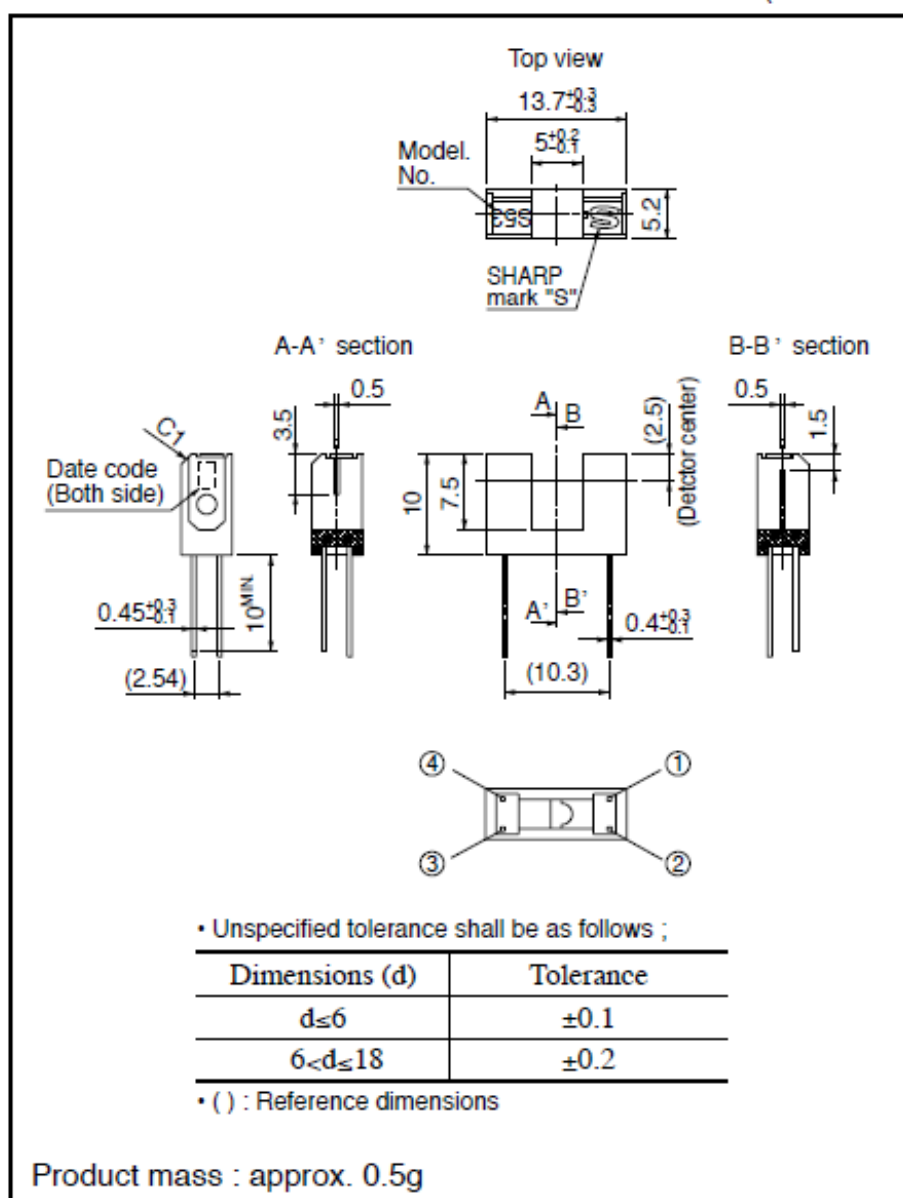
CARACTERÍSTICAS ENCODER ECG 3100

Internal Connection Diagram



Outline Dimensions

(Unit : mm)



Dip soldering material : Sn-3Ag-0.5Cu

Fig.7 Collector Current vs. Ambient Temperature

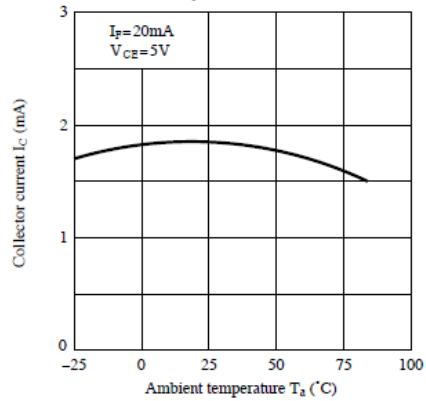


Fig.8 Collector-emitter Saturation Voltage vs. Ambient Temperature

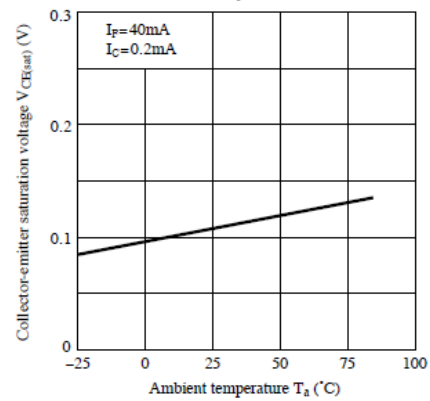


Fig.9 Response Time vs. Load Resistance

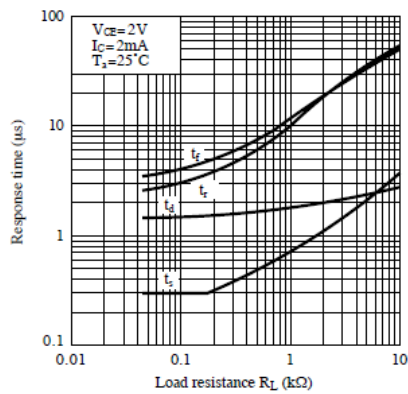


Fig.10 Test Circuit for Response Time

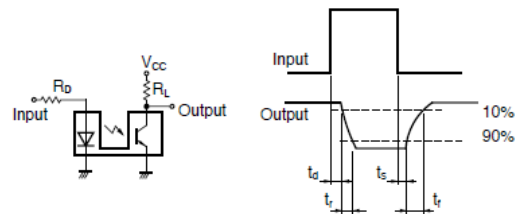


Fig.11 Frequency Response

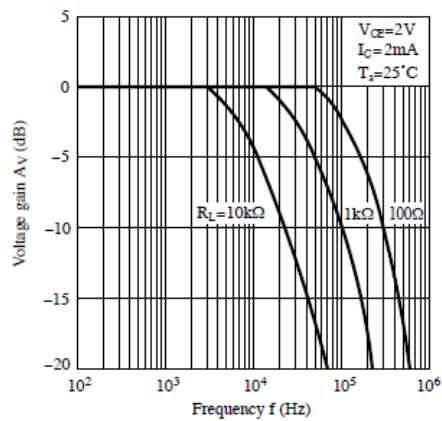
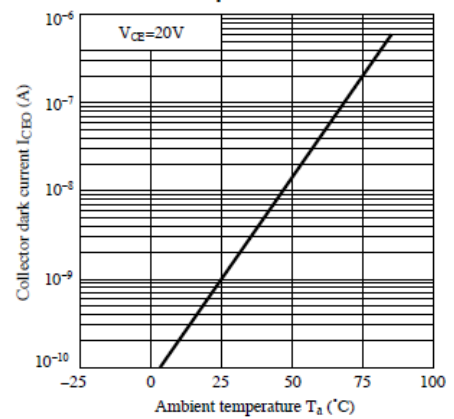


Fig.12 Collector Dark Current vs. Ambient Temperature



■ Absolute Maximum Ratings ($T_J=25^{\circ}\text{C}$)

	Parameter	Symbol	Rating	Unit
Input	^{*1} Forward current	I_F	50	mA
	^{*1, 2} Peak forward current	I_{FM}	1	A
	Reverse voltage	V_R	6	V
	Power dissipation	P	75	mW
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
	Collector current	I_C	20	mA
	^{*1} Collector power dissipation	P_C	75	mW
Operating temperature		T_{opr}	-25 to +85	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature		T_{stg}	-40 to +100	$^{\circ}\text{C}$
^{*3} Soldering temperature		T_{sol}	260	$^{\circ}\text{C}$

^{*1} Refer to Fig. 1, 2, 3

^{*2} Pulse width $\leq 100\mu\text{s}$, Duty ratio=0.01

^{*3} For 5s or less

■ Electro-optical Characteristics ($T_J=25^{\circ}\text{C}$)

	Parameter	Symbol	Condition	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Input	Forward voltage	V_F	$I_F=20\text{mA}$	—	1.25	1.4	V
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM}=0.5\text{A}$	—	3	4	V
	Reverse current	I_R	$V_R=3\text{V}$	—	—	10	μA
Output	Collector dark current	I_{CEO}	$V_{CE}=20\text{V}$	—	1	100	nA
Transfer characteristics	Collector current	I_C	$V_{CE}=5\text{V}$, $I_F=20\text{mA}$	0.5	—	15	mA
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F=40\text{mA}$, $I_C=0.2\text{mA}$	—	—	0.4	V
	Response time	Rise time	$V_{CE}=2\text{V}$, $I_C=2\text{mA}$, $R_L=100\Omega$	—	3	15	μs
		Fall time		—	4	20	

ANEXO 2.

CURVAS CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES TRIGGER CD40106

CD40106B Types

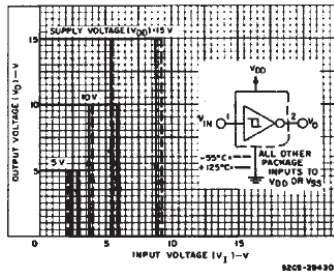


Fig. 9 - Typical voltage transfer characteristics as a function of temperature.

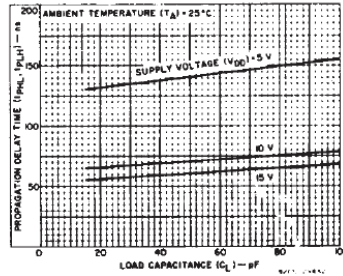


Fig. 10 - Typical propagation delay time as a function of load capacitance.

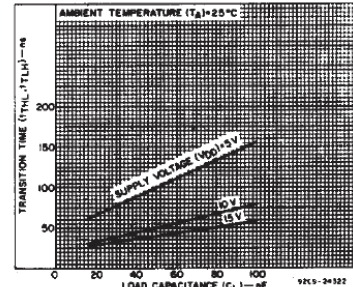


Fig. 11 - Typical transition time as a function of load capacitance.

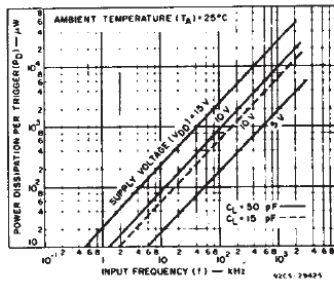


Fig. 12 - Typical power dissipation per trigger as a function of input frequency.

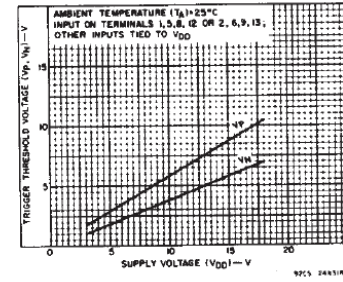


Fig. 13 - Typical trigger threshold voltage as a function of supply voltage.

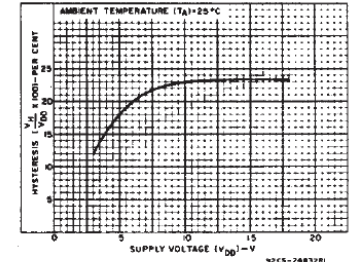


Fig. 14 - Typical per cent hysteresis as a function of supply voltage.

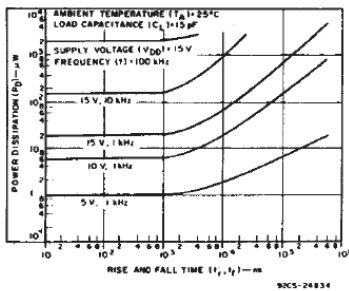


Fig. 15 - Typical power dissipation as a function of rise and fall times.

APPLICATIONS



Fig. 16 - Wave shaper.

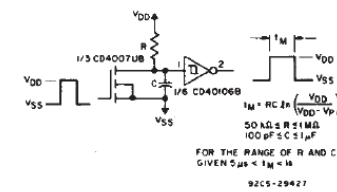


Fig. 17 - Monostable multivibrator.

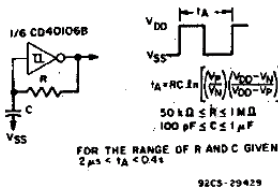


Fig. 18 - Astable multivibrator.

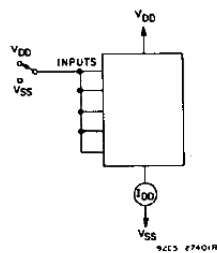


Fig. 19 - Quiescent device current test circuit.

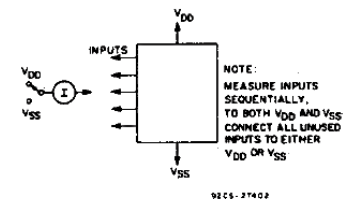


Fig. 20 - Input current test circuit.

ANEXO 3.

CARACTERÍSTICAS CONTROLADOR PUENTE H L298N.

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

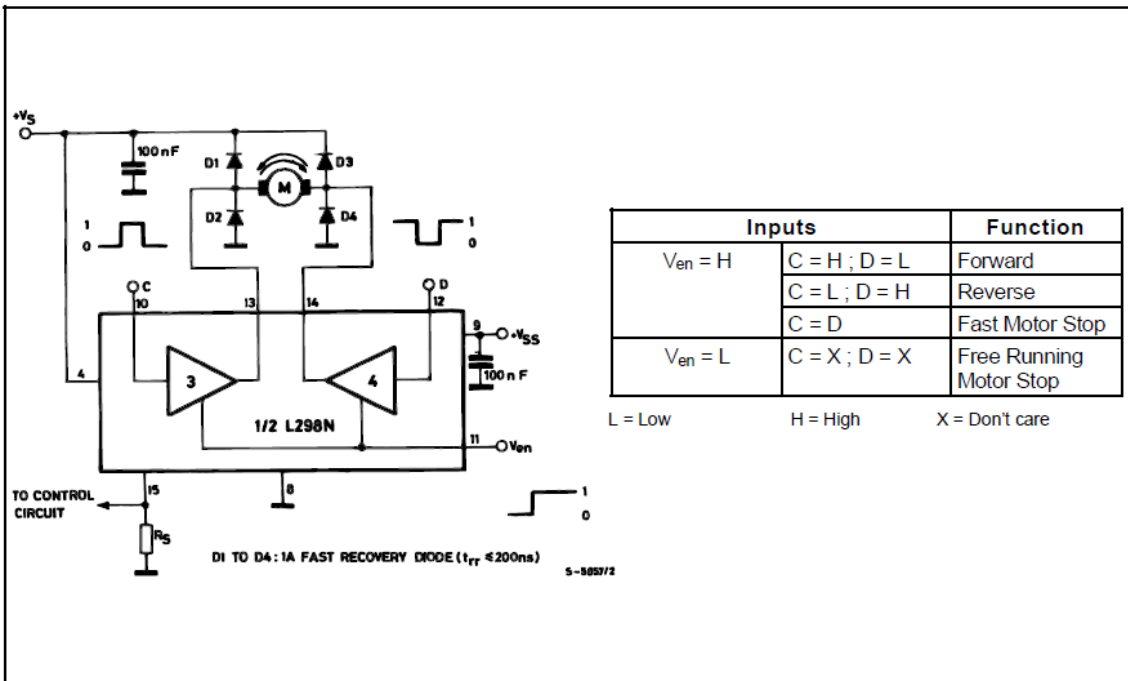
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L		13	22	mA
				50	70	mA
		V _{en} = L V _i = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0 V _i = L		24	36	mA
				7	12	mA
		V _{en} = L V _i = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = L			–10	μA
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _i = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			–10	μA
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} –0.6V		30	100	μA
V _{CEsat} (H)	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V
V _{CEsat} (L)	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5)	0.85	1.2	1.6	V
		I _L = 2A (5)		1.7	2.3	V
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5)	1.80		3.2	V
		I _L = 2A (5)			4.9	V
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

ANEXO 4.

CONTROL BIDIRECCIONAL MOTOR DC

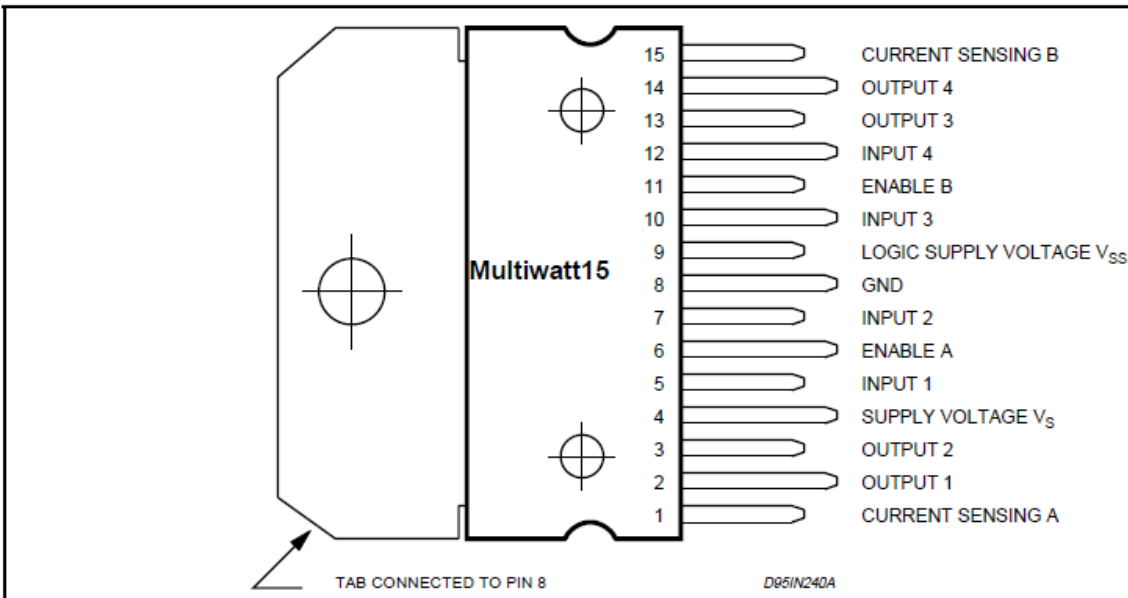
Configuración interna del conexionado entre los pines y la señal de control externa

Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

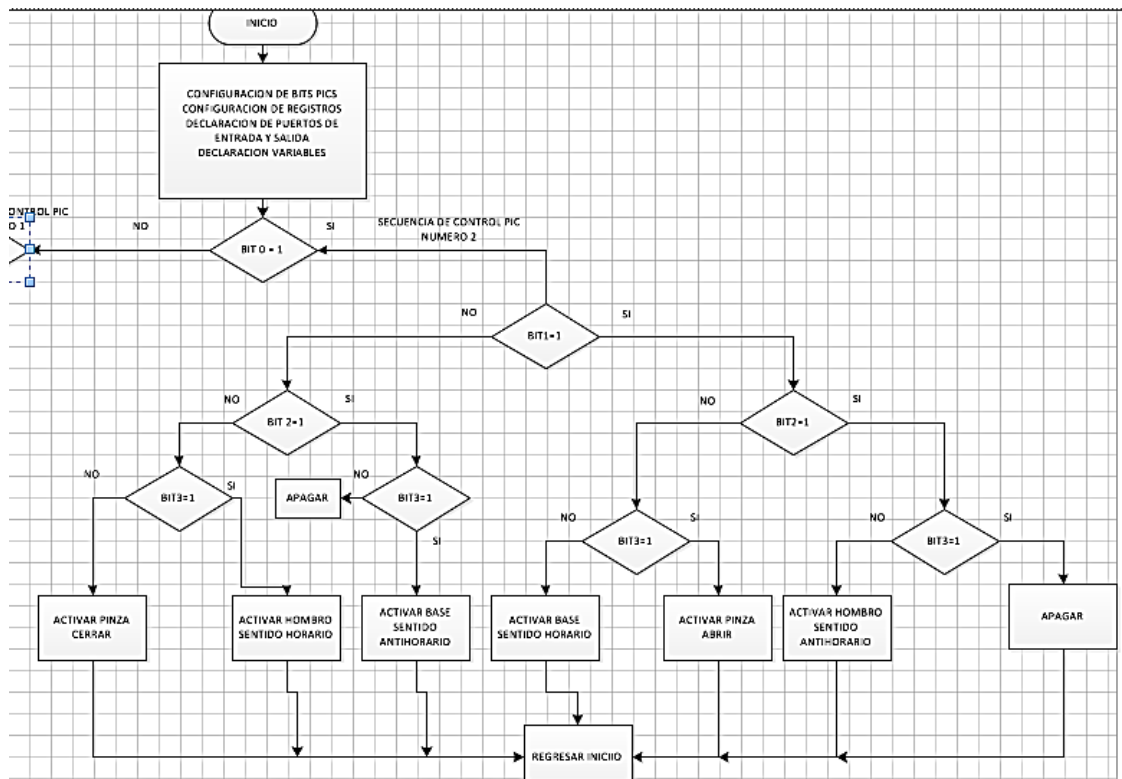
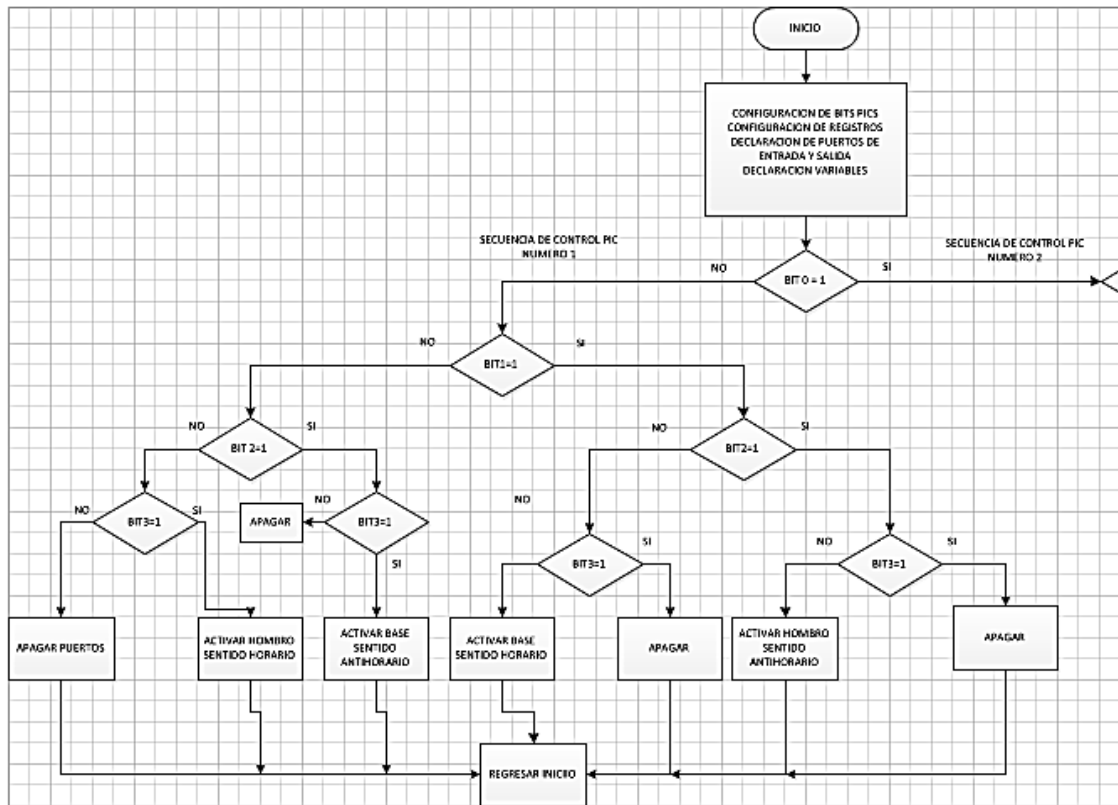


Distribución física del driver L298.

PIN CONNECTIONS (top view)



ANEXO .5
DIAGRAMAS DE FLUJO PARA LA PROGRAMACIÓN PICS 1Y2



ANEXO .6
CÓDIGO EN ENSAMBLADOR PARA LOS PICS 1Y2

Código PIC Numero1.-

list p=16f628A ; lista de directivas
definidas para el PIC
#include <p16f628A.inc> ; definiciones
de variables específicas para el PIC
_CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF &
_BODEN_ON & _PWRTE_ON &
_INTOSC_OSC_NOCLKOUT &
_DATA_CP_OFF & _LVP_OFF &
_MCLRE_OFF
;configuracion de registros

w equ 0
status equ 0x83
trisa equ 0x85
trisb equ 0x86
porta equ 0x05
portb equ 0x06
rp0 equ 5
rp1 equ 6
cmcon equ 0x1f
temporal equ 0x20
;declaracion de variables
m1_sh equ 0 ;Motor 1_base
m1_sa equ 1
m2_sh equ 2 ;Motor 2_Hombro
m2_sa equ 3
enable equ 4
clrf portb
;inicio del programa
inicio:
;configuracion de puerto
org 0x05
movlw 0x00
bsf status,rp0
bcf status,rp1
movwf trisb ; RB0-RB6 como salida.-
bcf status,rp0 ; Banco 0.-
bcf status,rp1
bsf status,rp0
bcf status,rp1
movlw b'11111111' ; port a como
entrada-
movwf trisa
bcf status,rp0 ; Banco 0.-
bcf status,rp1

movlw b'00000111'
movwf cmcon
movf porta,0
movwf temporal
btfsc porta,4
goto apagar
btfss porta,1
goto buclx0
goto buclx1
goto inicio
buclex0
btfss porta,2
goto bucle1x0
goto v_ultimox0
bucle1x0
btfss porta,3
goto apagar ;codigo 000
goto activarm2_sa ;codigo 100

v_ultimox0
btfss porta,3
goto activarm1_sa ;codigo 010
goto apagar ;codigo 110
v_ultimox1
btfss porta,3
goto activarm2_sh ;codigo 011
goto apagar ;codigo 111
buclex1
btfss porta,2
goto bucle1x1
goto v_ultimox1
bucle1x1
btfss porta,3
goto activarm1_sh ;codigo 001
goto apagar ;codigo 101
apagar
clrf portb
goto inicio
activarm1_sa ;activar 0010
bsf portb,enable
bsf portb,m1_sa
bcf portb,m1_sh
bcf portb,m2_sh
bcf portb,m2_sa
goto inicio
activarm1_sh ;activar 0001

```

    bsf portb,enable
    bcf portb,m1_sa
    bsf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    goto inicio
activarm2_sh ;activar 0100
    bcf portb,enable
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bsf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    goto inicio
activarm2_sa ;activar 1000
    bcf portb,4
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bsf portb,m2_sa
    goto inicio
END

```

Codigo PIC Numero2.-

```

list p=16f628A ; lista de directivas
definidas para el PIC
#include <p16f628A.inc> ; definiciones
de variables especificas para el PIC
_CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF &
_BODEN_ON & _PWRTE_ON &
_INTOSC_ON & _NOCLKOUT &
_DATA_CP_OFF & _LVP_OFF &
_MCLR_OFF
;configuracion de registros

w    equ 0
status equ 0x83
trisa equ 0x85
trisb equ 0x86
porta equ 0x05
portb equ 0x06
rp0 equ 5
rp1 equ 6
cmcon equ 0x1f
temporal equ 0x20
;declaracion de variables
m3_sh equ 0 ;Motor3_Codo

```

```

m3_sa equ 1
m4_sh equ 2 ;Motor4_Muñeca
m4_sa equ 3
enable1 equ 4
abrir equ 5
;Motor5_Pinza(abrir/cerrar)
cerrar equ 6
enable2 equ 7

clrf portb

;configuracion de puerto
org 0x05
movlw 0x00
bsf status,rp0
bcf status,rp1
movwf trisb ; RB0-RB6 como salida.-
bcf status,rp0 ; Banco 0.-
bcf status,rp1
bsf status,rp0
bcf status,rp1
movlw b'11111111' ; port a como
entrada.-
movwf trisa
bcf status,rp0 ; Banco 0.-
bcf status,rp1
movlw b'00000111'
movwf cmcon
movf porta,0
movwf temporal
;inicio del programa
inicio:
    btfss porta,4
    goto apagar
    btfss porta,1
    goto bucle0
    goto bucle1
    goto inicio
bucle0:
    btfss porta,2
    goto bucle1x0
    goto v_ultimox0
bucle1x0:
    btfss porta,3
    goto apagar ;codigo 000
    goto activarm4_sa ;codigo 100

```



```

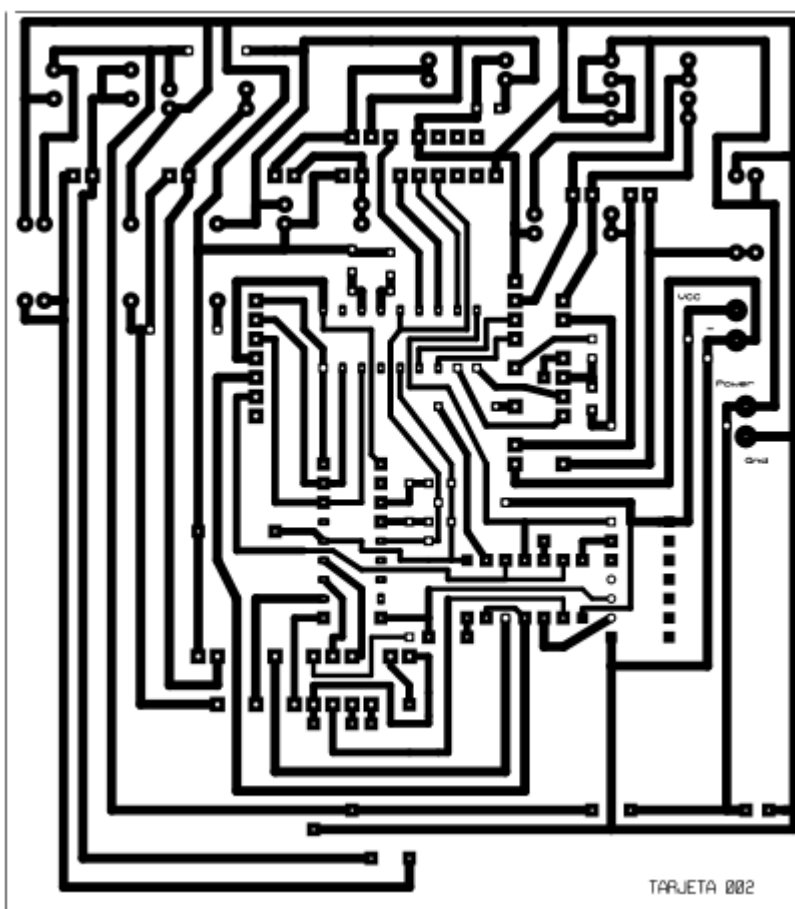
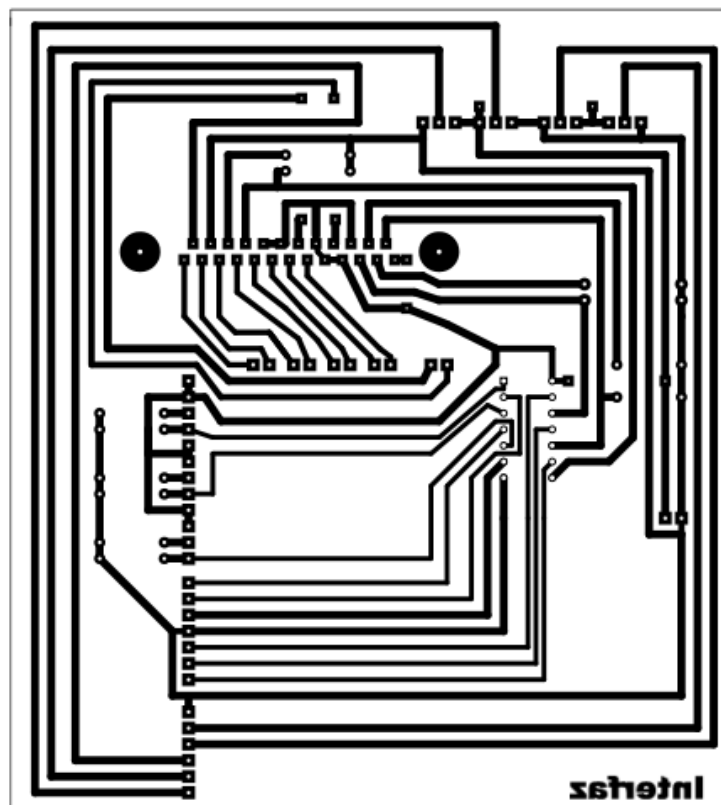
v_ultimox0
    btfss porta,3
    goto activarm3_sa ;codigo 010
    goto abrir_P ;codigo 110
v_ultimox1
    btfss porta,3
    goto activarm4_sh ;codigo 011
    goto apagar ;codigo 111
buclex1
    btfss porta,2
    goto bucle1x1
    goto v_ultimox1
bucle1x1
    btfss porta,3
    goto activarm3_sh ;codigo 001
    goto cerrar_P ;codigo 101
apagar
    clrf portb
    goto inicio
activarm1_sa ;activar 0010
    bcf portb,enable1
    bcf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    bsf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    goto inicio
activarm1_sh ;activar 0001
    bcf portb,enable1
    bcf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    bcf portb,m1_sa
    bsf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    goto inicio
activarm2_sh ;activar 0100
    bsf portb,enable1
    bcf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bsf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa

    goto inicio
activarm2_sa ;activar 1000
    bsf portb,enable1
    bcf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bsf portb,m2_sa
    goto inicio
abrir_P ;
    bsf portb,enable2
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    bcf portb,cerrar
    bsf portb,abrir
    goto inicio
cerrar_P
    bsf portb,enable2
    bcf portb,m1_sa
    bcf portb,m1_sh
    bcf portb,m2_sh
    bcf portb,m2_sa
    bsf portb,cerrar
    bcf portb,abrir
    goto inicio

END

```

ANEXO 7.
PLACAS CORRESPONDIENTES A LA TARJETA DE CONTROL E INTERFAZ.



ANEXO 8.
CONFIGURACIÓN INSTALACIÓN DAQ 6009.

Uso de la tarjeta de adquisición de datos USB6009:

1. Para configurar una tarjeta de adquisición de datos, el LabView debe de estar cerrado.
2. Abra el **MAX** (ó Start–Programs–National Instruments–Measurement & Automation) figura 1.

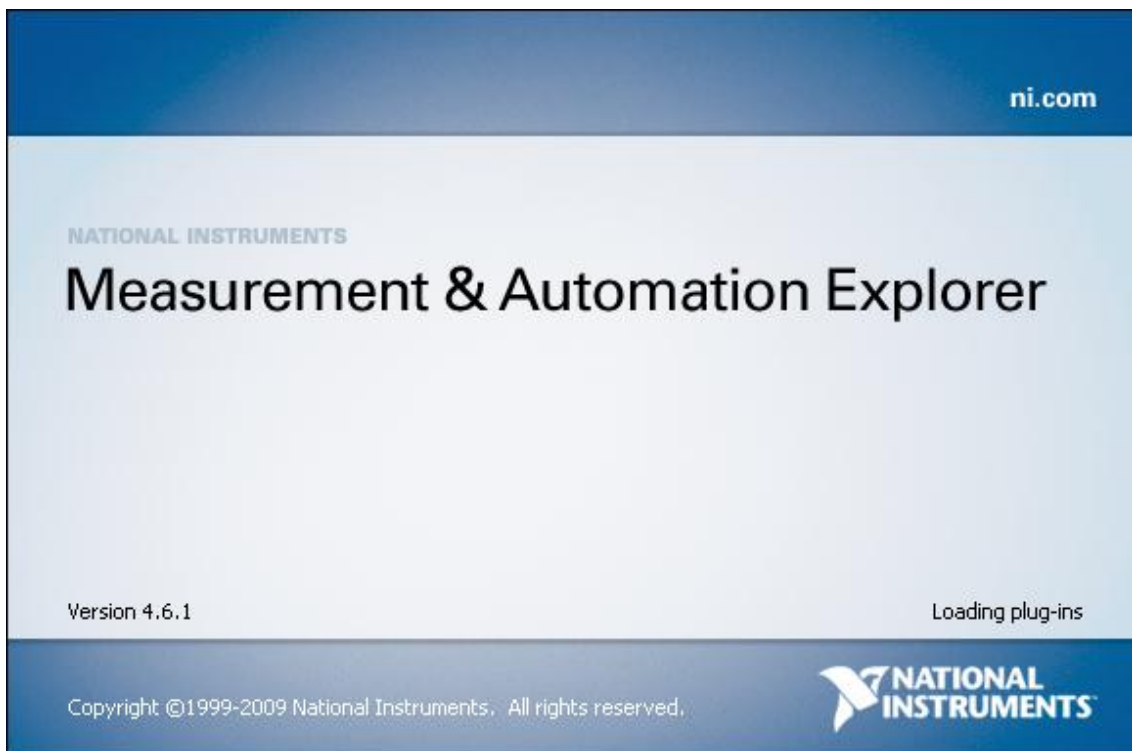


Fig. 1 Ventana MAX

3. Despliegue la sección **Devices and Interfaces** para ver los dispositivos de NI instalados en su computador figura 2

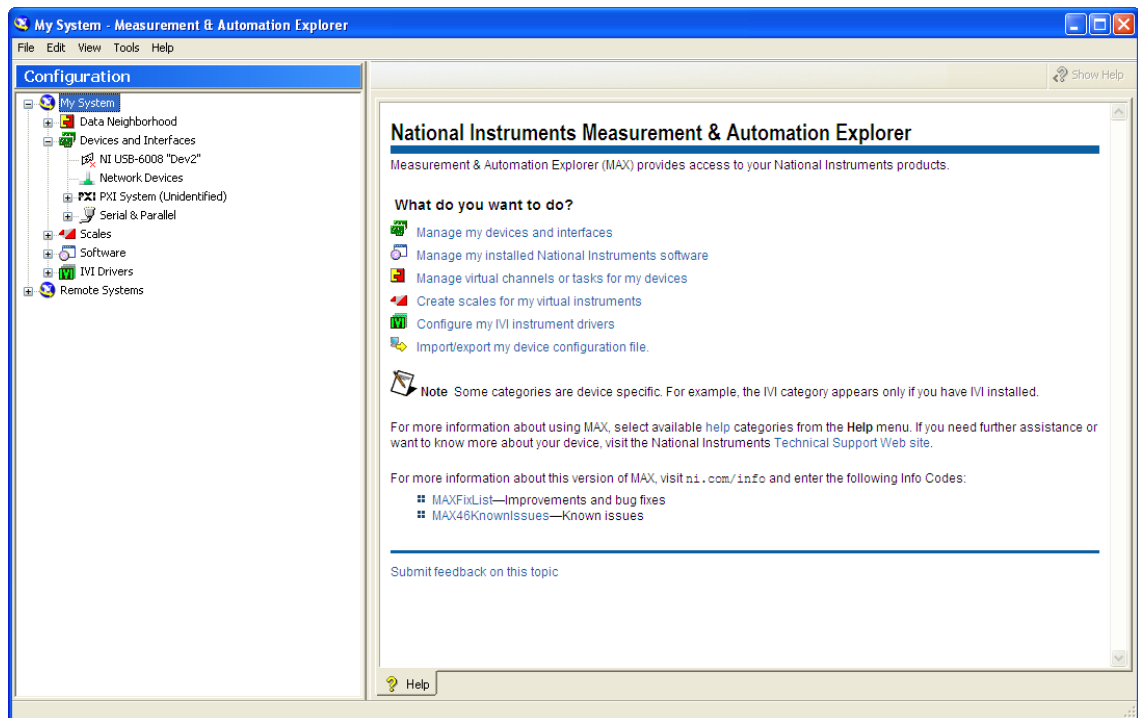


Fig.2 Ventana de configuración dispositivos

4. De clic derecho en **Devices and Interfaces** y seleccione **Create New – NIDAQmx – USB 6009 – Finish** figura 3.

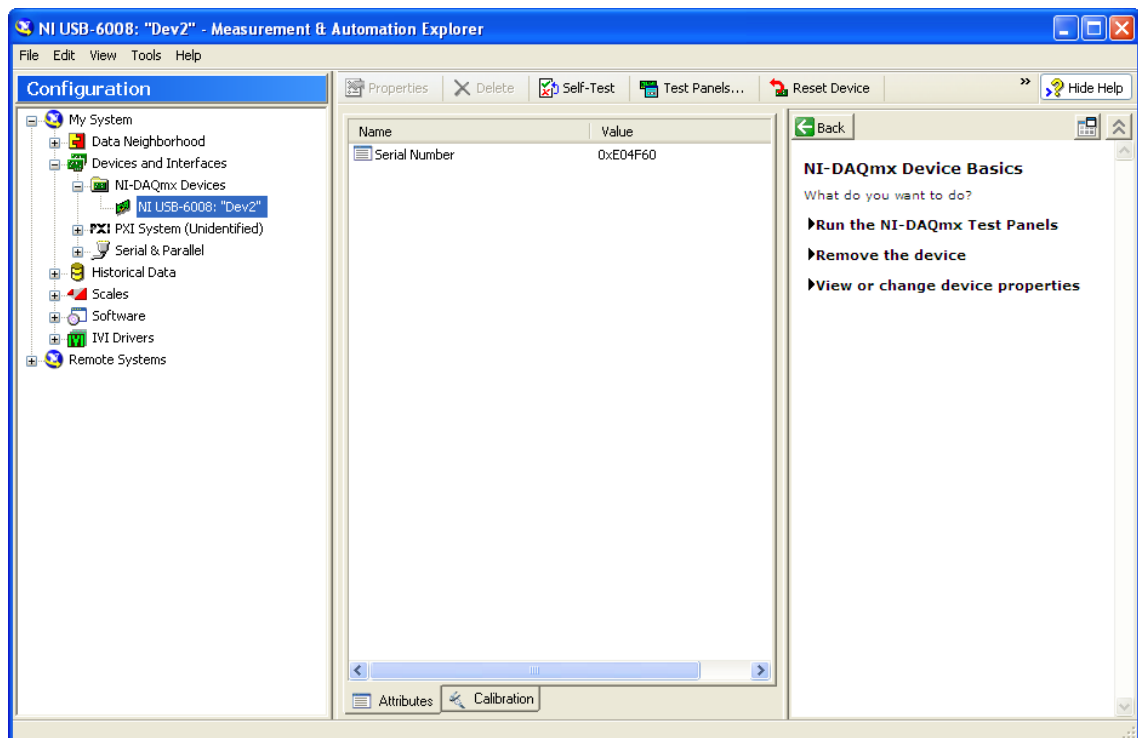


Fig. 3. Reconocimiento de nuevo dispositivo.

5. Una vez realizados los anteriores pasos, se desplegara USB 6009 "Dev 1" en la ventana del MAX.
6. Ejecute una auto-prueba del dispositivo creado haciendo clic derecho sobre el dispositivo y eligiendo **Self-Test** ó escogiendo la misma opción en la parte superior central de la ventana. Esto prueba los recursos del sistema asignados al dispositivo figura 4.

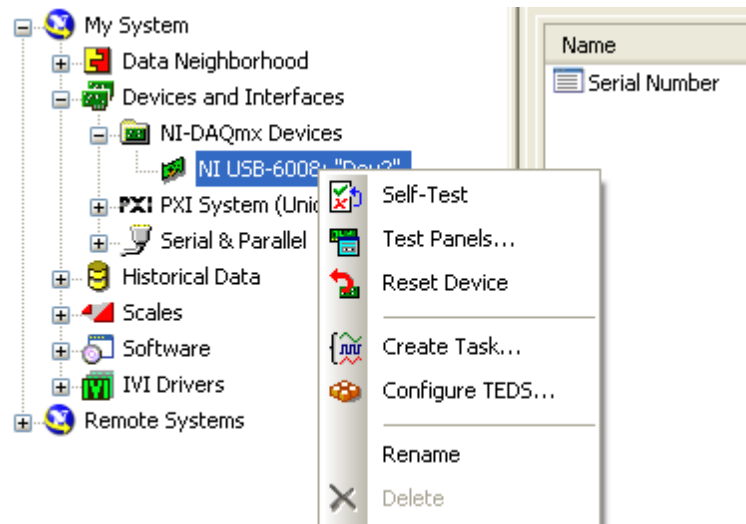


Fig.4. Auto prueba de dispositivo.

7. Abra ahora el **Test Panel** y aprecie las opciones que posee figura 5..
8. Dentro del Test Panel, abra la opción **Analog Input** y ponga **Mode** en **Continuous Start** y observe, **Stop** cuando quiera figura 6

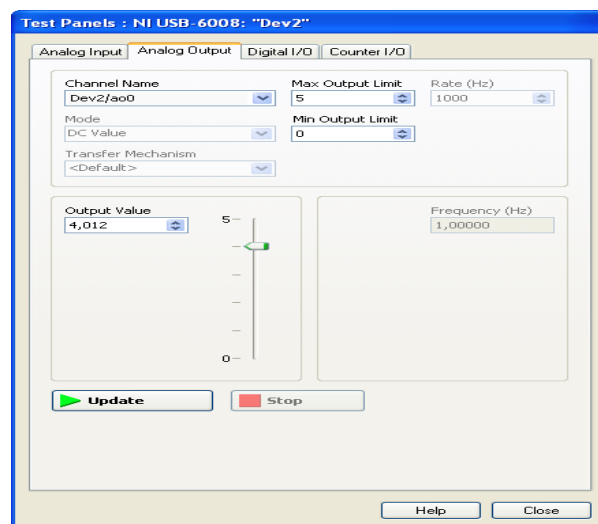


Fig. 5. Prueba canales entrada/salida

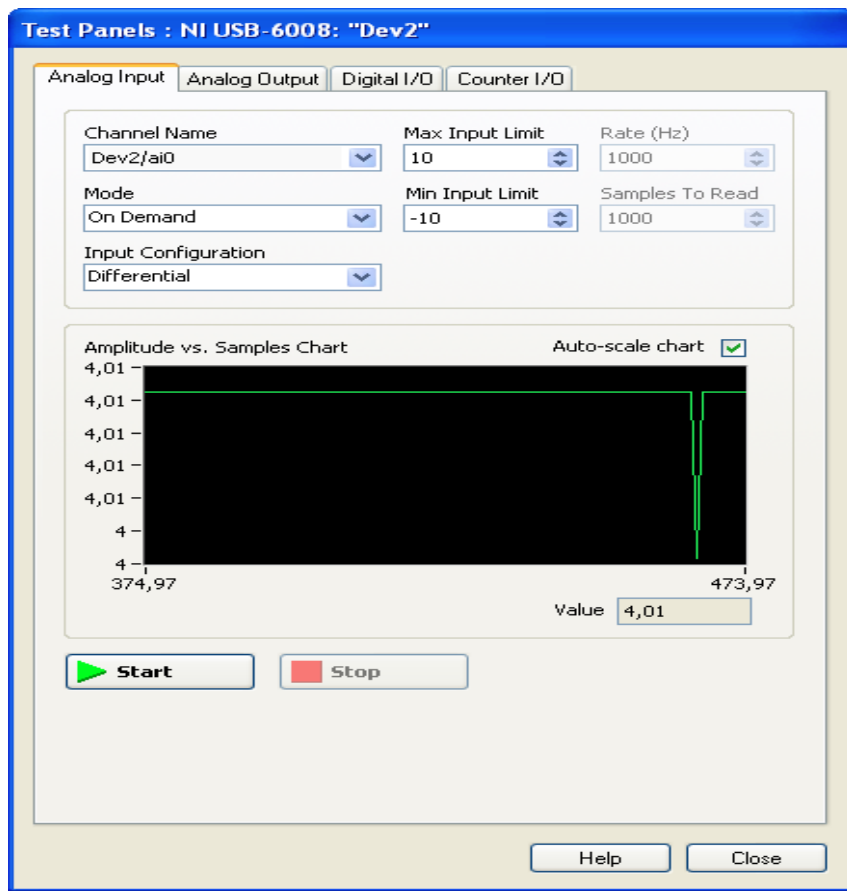


Fig. 6. Comprobación con SELFTEST

9. Cierre el MAX.

Cuando se trabaja con una DAQ USB, y ésta es conectada al computador, si está previamente instalada, se desplegará un menú similar al de cualquier memoria USB, en donde la aparecerá el icono de **Measurement & Automation**. Selecciónelo y siga los pasos de configuración. Es posible que este procedimiento deba hacerlo dos veces.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- **ACEDO SÁNCHEZ, J.**, Instrumentación y control avanzado de procesos., Barcelona-España., Ediciones Díaz de Santos., 2006., Pp. 137-139.
- 2.- **ARÉVALO MOLINA, P. y OTROS.**, Diseño, Construcción y Control de un Robot Industrial con Arquitectura Antropomórfica, dotado de visión Artificial., (**TESIS**) Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica., Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador., 2008., Pp. 1-10
- 3.- **BARRIENTOS, A. y OTROS.**, Fundamentos de Robótica., 2a_ed., Barcelona-España., Mc Graw Hill., 1996., Pp. 16,49-59
- 4.- **BERMEJO, S.**, Desarrollo de robots basados en el comportamiento., Barcelona-España., Ediciones UPC., 2003., Pp. 560.
- 5.- **BOADA ACOSTA, Y. y OTROS.**, Construcción, Ensamblaje y Control de un Robot de tres grados de libertad Tipo Scara (Selective Compliance Assembly Robot ARM)., (**TESIS**)., Facultad de Ingeniería Eléctrica Y Electrónica., Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador., 2010., Pp. 60-100.
- 6.- **BOLTON, W.**, Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en

en Ingeniería Mecánica y Eléctrica., 2a_ed., Barcelona – España., Alfaomega., 2003., Pp. 45-70,279-300.

- 7.- **CARDONA, S.**, Teoría de Maquinas., Barcelona-España., Ediciones UPC., 2001., Pp. 121-124, 131-135.
- 8.- **CASTRO, S. y OTROS.**, Teoría de Control, Diseño Electrónico., Barcelona-España., Alfaomega Ediciones UPC., 2001., Pp. 15-23,130-137.
- 9.- **CHAPMAN, S.J.**, Maquinas Eléctricas., 3a_ed., Bogota- Colombia., Mack Graw Hill., 2000., Pp. 70-100.
- 10.- **COOPER, W. y OTROS.**, Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición., Mexico-México., Prentice Hall Hispanoamérica., 1991., Pp. 30
- 11.- **CRAIG, J. J.**, Introducción a la Robótica., 3a_ed., México-Mexico., Pearson Prentice Hall., 2006., Pp. 20-21
- 12.- **CREUS, J. M.**, Instrumentación Industrial., Reino Unido(UK)., Prentice Hall International (UK)., 1992., Pp. 30-50
- 13.- **KATSUHIKO OGATA.**, Ingeniería de control moderna., 3a_ed., Washington-EEUU., 1998., Pp. 2-3,6-7,211-218.
- 14.- **MALONEY, T. J.**, Electrónica Industrial, Dispositivos y Sistemas., Mexico-México., Prentice Hall Hispanoamérica., 1993., Pp. 50.
- 15.- **MUHAMMAD H, R.**, Electrónica de Potencia., 3a_ed., Mexico-México., Pearson Prentice Hall., 2004., Pp. 300
- 16.- **OLLERO BATURONE, A.**, Robótica manipuladores y robots móviles., Barcelona-España., Marcombo Ediciones Técnicas., 2007., Pp. 3-4,166-167.
- 17.- **PALLAS ARENY, R.**, Adquisición y Distribución de Señales., Barcelona-España., Marcombo., 1994., Pp. 27.

18.- **REMIRO DOMINGUEZ, F.**, Microbot., Saber Electrónica., 191., Mexico-Mexico., Televisa., 2006., Pp. 5-21.

19.- **RONCACIO, H.A. Y OTROS.**, Tutorial de LABVIEW., Universidad Distrital "Francisco Jose de Caldas", Laboratorio de Electrónica., Grupo L IV., 2001

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

20.- ADQUISICIÓN DE DATOS LABVIEW.

<http://home.hit.no/~hansha/documents/labview/training/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW/Data%20Acquisition%20in%20LabVIEW.pdf>
2013/02/23.

21.- CÓMO UTILIZAR UNA LÍNEA DE SALIDA PWM.

<http://forums.ni.com/t5/Discusiones-sobre-Productos-NI/C%C3%B3mo-utilizo-una-l%C3%A1nea-de-salida-PWM-6009/td-p/1615054..>
2013/04/11.